

**(54) [Title of the Invention] IMAGE FORMING ELEMENT AND IMAGE FORMING APPARATUS**

**(57) [Abstract]**

**[Problem]** To provide an image forming element, being capable of being easily produced and capable of conveniently forming an image at a low cost, which is safe without the fear of causing an environmental problem at the time of disposal, and an image forming apparatus capable of forming a color image.

**[Means for Resolution]** There is provided an image forming element which has a film in which rod-shaped bodies are oriented and which shows a structural color formation. Preferable aspects are that: thickness of the film is 810 nm or less; the rod-shaped bodies are rod-shaped organic molecules, and the film is any one of a monomolecular film of the rod-shaped organic molecules and a laminated film of the monomolecular film; the rod-shaped bodies are  $\alpha$ -helix polypeptides; and a structure variable body in which a structure can be changed by a stimulus is bonded to an end portion and/or a peripheral side face of such rod-shaped body. There is also provided an image forming apparatus, having at least the image forming element and a light irradiating device which irradiates light on the image forming element, in which the image forming element reflects the light irradiated by the light irradiating device as interference light and the interference light has a wavelength of 300 to 810 nm.

**[Claims]**

**[Claim 1]**

**An image forming element, being characterized by comprising at least a film in which rod-shaped bodies are oriented and which shows a structural color formation.**

**[Claim 2]**

**The image forming element according to Claim 1, wherein thickness of the film is 810 nm or less.**

**[Claim 3]**

**The image forming element according to Claim 1 or 2, wherein the rod-shaped bodies are rod-shaped organic molecules, and the film is any one of a monomolecular film of the rod-shaped organic molecules and a laminated film of such monomolecular films.**

**[Claim 4]**

**The image forming element according to any one of Claims 1 to 3, wherein interference light by the film is intensified by conditions of the mathematical following formula (1) and is weakened by conditions of the mathematical following formula (2):**

**[Mathematical Formula 1]:**

$$\lambda = \frac{2 t l}{m} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{4 t l}{2 m - 1} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (2)$$

**wherein in the mathematical formula (1) and the mathematical formula (2),  $\lambda$  denotes a wavelength (nm) of the interference light;**

**$\alpha$  denotes an angle of incidence (degrees) of light to the film;**

**t represents thickness (nm) of the film;**

**l represents the number of laminated layers of such films;**

**n represents a refractive index of the film; and**

**m represents an integer of 1 or more.**

**[Claim 5]**

**The image forming element according to any one of Claims 1 to 4, wherein the film is fixed on a substrate.**

**[Claim 6]**

**The image forming element according to any one of Claims 1 to 5, wherein the rod-shaped bodies are  $\alpha$ -helix polypeptides.**

**[Claim 7]**

**The image forming element according to any one of Claims 1 to 6, wherein a structure variable body, in which a structure can be changed by a stimulus, is bonded to at least one of an end portion and a peripheral side face of each of the rod-shaped bodies.**

**[Claim 8]**

**The image forming element according to Claim 7, wherein, when the structure of the structure variable body is changed, color formation is changed.**

**[Claim 9]**

**The image forming element according to Claim 7 or 8, wherein the structure of the structure variable body can be changed by any one of light, heat and an electric field.**

**[Claim 10]**

**The image forming element according to Claim 9, wherein the structure variable body is selected from among a geometric isomer, a thermoplastic**

substance, a thermosetting substance and a liquid crystalline molecule.

**[Claim 11]**

The image forming element according to Claim 10, wherein the structure variable body is an azobenzene compound.

**[Claim 12]**

An image forming apparatus, comprising at least the image forming element according to any one of Claims 1 to 11 and a light irradiating device which irradiates light on the image forming element, being characterized in that the image forming element reflects the light irradiated by the light irradiating device as interference light, and the interference light has a wavelength of 300 to 810 nm.

**[Claim 13]**

The image forming apparatus according to Claim 12, further comprising a plurality of pixels each having at least the image forming element in which color formation by the interference light is blue, and another image forming element in which the color formation by the interference light is green, and still another image forming element in which the color formation by the interference light is red.

**[Claim 14]**

An image forming apparatus, comprising at least the image forming element according to any one of Claims 7 to 11, a light irradiating device which irradiates light on the image forming element, and a stimulus imparting means which imparts a stimulus to a structure variable body in the image forming element, being characterized in that the image forming element reflects the light irradiated by the light irradiating device as interference light and the

**interference light has a wavelength of 300 to 810 nm.**

**[Claim 15]**

**The image forming apparatus according to Claim 14, wherein a structure of the structure variable body in the image forming element is reversibly varied to a first structure and to a second structure by the stimulus of the stimulus imparting means and the wavelength of the interference light by the image forming element in a case in which the structure variable body has at least one of the first structure and the second structure is 300 to 810 nm.**

**[Claim 16]**

**The image forming apparatus according to Claim 14 or 15, further comprising a plurality of pixels each having at least an image forming element in which color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has the first structure is blue and the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has the second structure is colorless, another image forming element in which the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has the first structure is green and the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has the second structure is colorless and still another image forming element in which the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has the first structure is red and the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has the second structure is colorless.**

**[Detailed Description of the Invention]**

**[0001]**

**[Technical Field to Which the Invention Belongs]**

**The present invention relates to an image forming element which shows a structural color formation and an image forming apparatus using the image forming element.**

**[0002]**

**[Prior Art]**

**Conventionally, various types of image forming elements and image forming apparatuses using the image forming elements has been developed and provided. However, most of these image forming elements and image forming apparatuses have problems in that, since dyes or pigments are used, colored waste liquids are generated at the time of manufacture, disposal of wastes is not easy and, accordingly, there is a possibility of causing an environmental problem, an image forming mechanism is complex, image formation is expensive and the like. Recently, there has been a strong demand for developing an image forming element and an image forming apparatus free of these problems.**

**[0003]**

**[Problems that the Invention is to Solve]**

**A problem according to the present invention is to solve the aforementioned various types of problems, to respond to the aforementioned demand and, then, to achieve an object described below. Namely, an object according to the present invention is to provide an image forming element which is easily manufactured, can conveniently form images at a low cost and is safe without the fear of causing an environmental problem at the time of disposal thereof and, further, to provide an image forming apparatus which uses the image forming element and can form color images.**

**[0004]**

**[Means for Solving the Problems]**

Each means for solving the aforementioned problems is as follows:

<1> It is an image forming element, being characterized by comprising at least a film in which rod-shaped bodies are oriented and which shows a structural color formation;

<2> It is the image forming element as described in <1>, in which thickness of the film is 810 nm or less;

<3> It is the image forming element as described in <1> or <2>, in which the rod-shaped bodies are rod-shaped organic molecules, and the film is any one of a monomolecular film of the rod-shaped organic molecules and a laminated film of such monomolecular films;

<4> It is the image forming element according to any one of <1> to <3>, in which interference light by the film is intensified by conditions of the following mathematical formula (1), and is weakened by conditions of the following mathematical formula (2):

[0005]

[Mathematical Formula 2]:

$$\lambda = \frac{2 t l}{m} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{4 t l}{2 m - 1} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (2).$$

[0006]

However, in the mathematical formula (1) and the mathematical formula (2),  $\lambda$  denotes a wavelength (nm) of the interference light;

$\alpha$  denotes an angle of incidence (degrees) of light to the film;

$t$  represents thickness (nm) of the film;

$l$  represents the number of laminated layers of such films;

$n$  represents a refractive index of the film; and

$m$  represents an integer of 1 or more;

<5> The image forming element according to any one of <1> to <4>, in which the film is fixed on a substrate;

<6> The image forming element according to any one of <1> to <5>, in which the rod-shaped bodies are  $\alpha$ -helix polypeptides;

<7> The image forming element according to any one of <1> to <6>, in which a structure variable body, whose structure can be changed by a stimulus, is bonded to at least one of an end portion and a peripheral side face of each of the rod-shaped bodies;

<8> The image forming element as described in <7>, in which, when the structure of the structure variable body is changed, color formation is changed;

<9> The image forming element as described in <7> or <8>, in which the structure of the structure variable body can be changed by any one of light, heat and an electric field;

<10> The image forming element as described in <9>, in which the structure variable body is selected from among a geometric isomer, a thermoplastic substance, a thermosetting substance and a liquid crystalline molecule;

<11> The image forming element as described in <10>, in which the structure variable body is an azobenzene compound;

[0007]



**<12> An image forming apparatus, comprising at least the image forming element as described in any one of <1> to <11> and a light irradiating device which irradiates light on the image forming element, being characterized in that the image forming element reflects the light irradiated by the light irradiating device as interference light, and the interference light has a wavelength of 300 to 810 nm;**

**<13> The image forming apparatus as described in <12>, further comprising a plurality of pixels each having at least the image forming element in which color formation by the interference light is blue, and another image forming element in which the color formation by the interference light is green, and still another image forming element in which the color formation by the interference light is red;**

**<14> An image forming apparatus, comprising at least the image forming element as described in any one of <7> to <11>, a light irradiating device which irradiates light on the image forming element, and a stimulus imparting means which imparts a stimulus to a structure variable body in the image forming element, being characterized in that the image forming element reflects the light irradiated by the light irradiating device as interference light and the interference light has a wavelength of 300 to 810 nm;**

**<15> The image forming apparatus as described in <14>, in which a structure of the structure variable body in the image forming element is reversibly varied to a first structure and to a second structure by the stimulus of the stimulus imparting means and the wavelength of the interference light by the image forming element in a case in which the structure variable body has at least one of the first structure and the second structure is 300 to 810 nm; and**

**<16> The image forming apparatus as described in <14> or <15>, further comprising a plurality of pixels each having at least an image forming element in which color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has the first structure is blue and the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has the second structure is colorless, another image forming element in which the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has the first structure is green and the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has the second structure is colorless and still another image forming element in which the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has the first structure is red and the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has the second structure is colorless.**

**[0008]**

**The image forming element as described in <1> involves at least the film in which the rod-shaped bodies are oriented and which shows the structural color formation. In the image forming element, the film shows the structural color formation based on the multilayer thin-film interference theory which is a basic principle of the color formation of scaly powder of wings of a Morpho butterfly. When an external stimulus such as an electric field, a magnetic field, heat or light (for example, natural light, infrared light or ultraviolet light) is applied to the film, interference light having a specific wavelength is reflected in accordance with the thickness of the film and the refractive index thereof and, then, the color formation occurs on a surface of the film. In this color formation, a color tone thereof can arbitrarily be controlled by the external**

stimulus as with an epidermis of a chameleon. Then, the image forming element can form images.

[0009]

In the image forming element as described in <2>, in the above-described in <1>, the thickness of the film is 810 nm or less. Then, visible light irradiated on the film is reflected as interference light. As a result, the film shows the structural color formation and the image forming element can form images.

[0010]

In the image forming element as described in <3>, in the above-described <1> or <2>, the rod-shaped bodies are rod-shaped organic molecules, and the film is any one of the monomolecular film of the rod-shaped organic molecules and a laminated film of such monomolecular films. Then, the thickness of the film can freely be changed in accordance with the thickness and the number of laminated layers of the monomolecular film, and the color formation based on the structural color formation can be adjusted.

[0011]

In the image forming element as described in <4>, in any one of the above-described <1> to <3>, the interference light by the film is intensified by the conditions of the following mathematical formula (1) and is weakened by the conditions of the following mathematical formula (2). Then, by appropriately selecting the conditions of the mathematical formula (1) and the conditions of the mathematical formula (2), desired color formation can be obtained in an intensified state. Further, by selecting and combining a plurality of types of image forming elements, multicolor color formation can be achieved:

[0012]

[Mathematical Formula 3]

$$\lambda = \frac{2 t l}{m} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{4 t l}{2 m - 1} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (2).$$

[0013]

However, in the above-described mathematical formulae (1) and (2),  $\lambda$  denotes the wavelength (nm) of the interference light;

$\alpha$  denotes the angle (degrees) of incidence of the light on the film;

$t$  represents the thickness (nm) of the film;

$l$  represents the number of laminated layers of the film;

$n$  represents the refractive index of the film; and

$m$  represents an integer of 1 or more.

[0014]

In the image forming element as described in <5>, in any one of the above-described <1> to <4>, the film is fixed to the substrate. Then, the image forming element can be provided upright or the like and can be disposed at an arbitrary position.

[0015]

In the image forming element as described in <6>, in any one of the above-described <1> to <5>, the rod-shaped bodies are  $\alpha$ -helix polypeptides. In each of the rod-shaped bodies, by merely changing the degree of polymerization of the polypeptide, a spiral length of  $\alpha$ -helix can be varied, and the thickness of

the film can be adjusted. Further, the film is biodegradable and, therefore, is safe and does not cause environmental problems at the time of disposal.

[0016]

In the image forming element as described in <7>, in any one of the above-described <1> to <6>, the structure variable body, whose structure can be changed by the stimulus, is bonded to at least one of the end portion and the peripheral side face of each of the rod-shaped bodies. In the image forming apparatus, since the rod-shaped bodies which form the film have the structure variable bodies, when the stimulus is imparted, the structure of the structure variable body is changed. As a result, the thickness of the film is changed. Then, the color formation based on the structural color formation can be changed between before and after the changes of the thickness of the film.

[0017]

In the image forming element as described in <8>, in the above-described <7>, when the structure of the structure variable body is changed, the color formation is changed. In the image forming apparatus, when the stimulus is imparted, the structure of the structure variable body is changed, the thickness of the film is changed, and color formation based on the structural color formation is changed between before and after the changes of the thickness of the film.

[0018]

In the image forming element as described in <9>, in the above-described <7> or <8>, the structure of the structure variable body can be changed by any one of the light, the heat and the electric field. In the image forming apparatus, when any one of the light, the heat and the electrical field is

applied, the structure of the structure variable body is changed, the thickness of the film is changed, and the color formation based on the structural color formation is changed between before and after the changes of the thickness of the film.

[0019]

In the image forming element as described in <10>, in the above-described <9>, the structure variable body is selected from among the geometrical isomer, the thermoplastic substance, the thermosetting substance and the liquid crystalline molecule. In the image forming apparatus, when any one of the light, the heat and the electric field is applied, the structure of the geometrical isomer, the thermoplastic substance, the thermosetting substance or the liquid crystalline molecule is changed, the thickness of the film is changed and the color formation based on the structural color formation is changed between before and after the changes of the thickness of the film.

[0020]

In the image forming element as described in <11>, in the above-described <10>, the structure variable body is the azobenzene compound. In the image forming apparatus, when the visible light or the ultraviolet light is irradiated, the structure of the azobenzene compound is changed, the thickness of the azobenzene compound is changed, the thickness of the film is changed, and the color formation based on the structural color formation is changed between before and after the changes of the thickness of the film.

[0021]

The image forming apparatus as described in <12> involves at least the image forming element as described in any one of the above-described <1> to

**<11> and the light irradiating means which irradiates the light on the image forming element. The image forming element reflects the light irradiated by the light irradiating means as the interference light and the wavelength of the interference light is 300 to 810 nm.**

**[0022]**

**In the image forming apparatus, the light irradiating means irradiates the light on the image forming element. Then, the film in the image forming element shows the structural color formation based on the multilayer thin-film interference theory which is the basic principle of the color formation of the scaly powder of the wings of the Morpho butterfly. Namely, the light which is irradiated on the film is reflected as the interference light having the specific wavelength. Since the wavelength of the interference light is 300 to 810 nm, the color formation which can visually be perceived occurs on the surface of the film. As a result, an image can be formed.**

**[0023]**

**The image forming apparatus as described in <13>, in the above-described in <12>, involves a plurality of pixels each having at least an image forming element in which the color formation by the interference light is blue, another image forming element in which the color formation by the interference light is green and still another image forming element in which the color formation by the interference light is red.**

**[0024]**

**In the image forming apparatus, when the image forming element, in which the color formation by the interference light is blue, reflects the light, a blue color is exhibited; when the image forming element, in which the color**

formation by the interference light is green, reflects the light, a green color is exhibited; when the image forming element, in which the color formation by the interference light is red, reflects the light, a red color is exhibited; when the image forming element, in which the color formation by the interference light is blue, and the image forming element, in which the color formation by the interference light is green, reflect the light, a cyan color is exhibited; when the image forming element, in which the color formation by the interference light is blue, and the image forming element, in which the color formation by the interference light is red, reflect the light, a magenta color is exhibited; and when the image forming element, in which the color formation by the interference light is green, and the image forming element, in which the color formation by the interference light is red, reflect the light, a yellow color is exhibited. As a result, a full-color image can be formed.

[0025]

The image forming apparatus as described in <14> involves at least the image forming element as described in any one of <7> to <11>, the light irradiating means which irradiates the light on the image forming element and the stimulus imparting means which imparts the stimulus to the structure variable body in the image forming element. The image forming element reflects the light irradiated by the light irradiating means as the interference light, and the wavelength of the interference light is 300 to 810 nm.

[0026]

In the image forming apparatus, the light irradiating means irradiates the light on the image forming element. Then, the film in the image forming element shows the structural color formation based on the multilayer thin-film



interference theory which is the basic principle of the color formation of the scaly powder of the wings of the Morpho butterfly. Namely, the light which is irradiated on the film is reflected as the interference light having the specific wavelength. Since the wavelength of the interference light is 300 to 810 nm, the color formation which can visually be perceived occurs on the surface of the film. As a result, the image can be formed. Further, the stimulus imparting means imparts the stimulus to the structure variable body. Then, the structure of the structure variable body is changed and the thickness of the film is changed. When the thickness of the film is changed, the wavelength of the interference light by the structural color formation is changed and, then, the color formation can be changed.

[0027]

In the image forming apparatus as described in <15>, in the above-described <14>, the structure of the structure variable body in the image forming element is reversibly varied to the first structure and the second structure by the stimulus of the stimulus imparting means, and the wavelength of the interference light in the image forming element in a case in which the structure variable body has at least one of the first structure and the second structure is 300 to 810 nm.

[0028]

In the image forming apparatus, the stimulus imparting means imparts the stimulus to the structure variable body. Then, the structure of the structure variable body is changed from the first structure to the second structure. As a result, the thickness of the film is changed. Accompanying such change in the structure of the structure variable body, the thickness of the film is reversibly

changed between a first thickness in a case in which the structure variable body has the first structure and a second thickness in a case in which the structure variable body has the second structure. The light irradiating means irradiates the light on the image forming element. Then, when the film in the image forming element has the first thickness, the film exhibits the structural color formation based on the multilayer thin-film interference theory which is the basic principle of color formation of the scaly powder of the wings of a Morpho butterfly. Namely, the light irradiated on the film is reflected as the interference light having the specific wavelength. Since the wavelength of the interference light is 300 to 810 nm, the color formation which can visually be perceived occurs on the surface of the film. As a result, the image can be formed. On the other hand, when the film has the second thickness, the film does not exhibit the structural color formation, or it reflects the interference light having the wavelength which is different from that of the interference light in a case in which the film has the first thickness. As a result, by merely imparting the stimulus by the stimulus imparting means, the color formation of the film can be changed from being colored to either being colorless or being differently colored. For this account, in the image forming apparatus, a control of the color formation becomes easy and, then, a desired image can easily be formed.

[0029]

In the image forming apparatus as described in <16>, in the above-described <14> or <15>, the image forming apparatus has a plurality of pixels each having at least an image forming element (hereinafter, referred to also as "blue element") in which the color formation by the interference light in

a case in which the structure variable body has a first structure is blue and, further, the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has a second structure is colorless, another image forming element (hereinafter, referred to also as “green element”) in which the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has a first structure is green and, further, the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has a second structure is colorless and still another image forming element (hereinafter, referred to also as “red element”) in which the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has a first structure is red and, further, the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has a second structure is colorless. In other words, the image forming apparatus has a plurality of pixels each having the blue element, the green element and the red element.

[0030]

In the image forming apparatus, the stimulus imparting means imparts a stimulus for blue element color formation. (hereinafter, referred to also as “blue color formation stimulus”). Then, the structure of the structure variable body in the blue element is changed from the first structure to the second structure. As a result, the thickness of the film in the blue element is changed. Accompanying the change in the structure of the structure variable body, the thickness of the film is reversibly changed between a first thickness in a case in which the structure variable body in the blue element has the first structure and a second thickness in a case in which the structure variable body in the blue element has the second structure. The light irradiating means irradiates the

light on the image forming element. Then, when the film in the blue element has the first thickness, the film exhibits the structural color formation based on the multilayer thin-film interference theory which is the basic principle of the color formation of the scaly powder of the wings of the Morpho butterfly. Namely, since the light irradiated on the film in the blue element is reflected as blue interference light, the color formation of a blue color occurs on the surface of the film. On the other hand, the stimulus imparting means imparts a stimulus for blue element color quenching (hereinafter, referred to also as “blue color quenching stimulus”). Then, the structure of the structure variable body in the blue element is changed from the first structure to the second structure. As a result, the thickness of the film in the blue element is changed to the second thickness. When the film has the second thickness, since the film reflects colorless interference light, that is, other light which can not visually be perceived than the visible light, the film does not exhibit the structural color formation.

[0031]

When the stimulus imparting means imparts a stimulus for green element color formation (hereinafter, referred to also as “green color formation stimulus”), since the light irradiated on the film in the green element is reflected as green interference light in a same way as in the blue element, the color formation of the green color occurs on the surface of the film. On the other hand, when the stimulus imparting means imparts a stimulus for green element color quenching (hereinafter, referred to also as “green color quenching stimulus”), the thickness of the film in the green element is changed to the second thickness. When the film has the second thickness, since the film

reflects colorless interference light, that is, other light which can not visually be perceived than the visible light, the film does not exhibit the structural color formation.

Further, when the stimulus imparting means imparts a stimulus for red element color formation (hereinafter, referred to also as “red color formation stimulus”), since the light irradiated on the film in the red element is reflected as red interference light in a same manner as the blue element, the color formation of the red color occurs on the surface of the film. Still further, when the stimulus imparting means imparts a stimulus for red element color quenching (hereinafter, referred to also as “red color quenching stimulus”), the thickness of the film in the red element is changed to the second thickness. When the film has the second thickness, since the film reflects colorless interference light, that is, other light which can not visually be perceived than the visible light, the film does not exhibit the structural color formation.

[0032]

For this account, when the stimulus imparting means imparts the blue color forming stimulus, the green color forming stimulus and the red color quenching stimulus, in the pixel, the cyan color is exhibited by synthesis of the color formation of the blue color and the green color. When the stimulus imparting means imparts the blue color forming stimulus, the green color quenching stimulus and the red color forming stimulus, at the pixel, the magenta color is exhibited by synthesis of the color formation of the blue color and the red color. When the stimulus imparting means imparts the blue color quenching stimulus, the green color forming stimulus and the red color forming stimulus, at the pixel, the yellow color is exhibited by synthesis of the color

formation of the green color and the red color. Accordingly, at the image forming apparatus, formation of a full color image is possible by combining these pixels.

[0033]

[Mode for Carrying Out the Invention]

[0033]

Hereinafter, an image forming element and an image forming apparatus according to the present invention will be described.

The image forming element according to the present invention has at least a film in which rod-shaped bodies are oriented and which exhibits a structural color formation.

[0034]

<Rod-Shaped Bodies>

The rod-shaped body is not particularly limited so long as it is rod-shaped and may be appropriately selected in accordance with an object. The rod-shaped body may be either a rod-shaped inorganic substance or a rod-shaped organic substance, but the rod-shaped organic substance is preferable.

[0035]

Examples of such rod-shaped organic substances include biopolymers and polysaccharides. Suitable examples of the biopolymers include fibrous proteins,  $\alpha$ -helix polypeptides and nucleic acids (DNA, RNA). Examples of the fibrous proteins include those each having an  $\alpha$ -helix structure such as  $\alpha$ -keratin, myosin, epidermin, fibrinogen, tropomyosin or silk fibroin. Suitable examples of the polysaccharides include amylose.

[0036]

Among the rod-shaped organic substances, spiral organic molecules whose molecules have a spiral structure are preferable from the standpoint of capability of stably maintaining stably the rod shape and intercalating other substances into the interior of the molecule in accordance with the object. Among the aforementioned substances, examples of the spiral organic molecules include an  $\alpha$ -helix polypeptide, DNA and amylose.

[0037]

[ $\alpha$ -Helix Polypeptide]

The  $\alpha$ -helix polypeptide as described above is one of secondary structures of polypeptides. The polypeptide rotates one time (forms one spiral) every 3.6 residues of an amino acid, and a hydrogen bond which is substantially parallel to an axis of the helix is formed between a carbonyl group (-CO-) and an imide group (-NH-) every fourth amino acid, and this structure is repeated every seven amino acids as a repeating unit. In this way, the  $\alpha$ -helix polypeptide has a structure which is stable energy-wise.

[0038]

A direction of the spiral of the  $\alpha$ -helix polypeptide is not particularly limited and may be either wound right or wound left. Further, it is noted that, in nature, only a structure in which the direction of the spiral is wound right exists due to stability.

[0039]

The amino acid which forms the  $\alpha$ -helix polypeptide is not particularly limited, so long as an  $\alpha$ -helix structure can be formed and can appropriately be selected in accordance with the object. However, the amino acid which

facilitates formation of the  $\alpha$ -helix structure is preferable. Suitable examples of such amino acids include aspartic acid (Asp), glutamic acid (Glu), arginine (Arg), lysine (Lys), histidine (His), asparagine (Asn), glutamine (Gln), serine (Ser), threonine (Thr), alanine (Ala), valine (Val), leucine (Leu), isoleucine (Ile), cysteine (Cys), methionine (Met), tyrosine (Tyr), phenylalanine (Phe) and tryptophan (Trp). These amino acids may be used either alone or by two or more in combinations.

[0040]

In regard to affinity of the  $\alpha$ -helix polypeptide, by appropriately selecting the amino acid, the property of the  $\alpha$ -helix polypeptide can be changed into being any one of hydrophilic, hydrophobic, and amphiphilic. In a case in which the  $\alpha$ -helix polypeptide is allowed to be hydrophilic, suitable examples of such amino acids include serine (Ser), threonine (Thr), aspartic acid (Asp), glutamic acid (Glu), arginine (Arg), lysine (Lys), asparagine (Asn) and glutamine (Gln). In a case in which the  $\alpha$ -helix polypeptide is allowed to be hydrophobic, suitable examples of the amino acids include phenylalanine (Phe), tryptophan (Trp), isoleucine (Ile), tyrosine (Tyr), methionine (Met), leucine (Leu) and valine (Val).

[0041]

Further, the  $\alpha$ -helix polypeptide can be changed into being lipophilic (hydrophobic) by esterifying a carboxyl group which does not form a peptide bond in the amino acid in which the  $\alpha$ -helix is formed. Still further, the  $\alpha$ -helix polypeptide can be changed into being hydrophilic by hydrolyzing the thus-esterified carboxyl group.

[0042]



The amino acid may be any one of an L-amino acid, a D-amino acid and a derivative in which a side chain portion of any one of these amino acids is modified.

[0043]

The number of bonds (degree of polymerization) of the amino acid in the  $\alpha$ -helix polypeptide is not particularly limited and may appropriately be selected in accordance with the object. However, the number is preferably 10 to 5000. When the number of bonds (degree of polymerization) is less than 10, it may not be possible for a polyamino acid to form a stable  $\alpha$ -helix. On the other hand, when the number of bonds (degree of polymerization) exceeds 5000, it may sometimes be difficult to achieve vertical orientation.

[0044]

Suitable specific examples of the  $\alpha$ -helix polypeptides include polyglutamic acid derivatives such as poly( $\gamma$ -methyl-L-glutamate), poly( $\gamma$ -ethyl-L-glutamate), poly( $\gamma$ -benzyl-L-glutamate), poly(L-glutamic acid- $\gamma$ -benzyl), poly(n-hexyl-L-glutamate), etc.; polyaspartic acid derivatives such as poly( $\beta$ -benzyl-L-aspartate); polypeptides such as poly(L-leucine), poly(L-alanine), poly(L-methionine), poly(L-phenylalanine) and poly(L-lysine)-poly( $\gamma$ -methyl-L-glutamate).

[0045]

The  $\alpha$ -helix polypeptide may be a commercially available one or may appropriately be synthesized or prepared in accordance with methods described in known publications or the like.

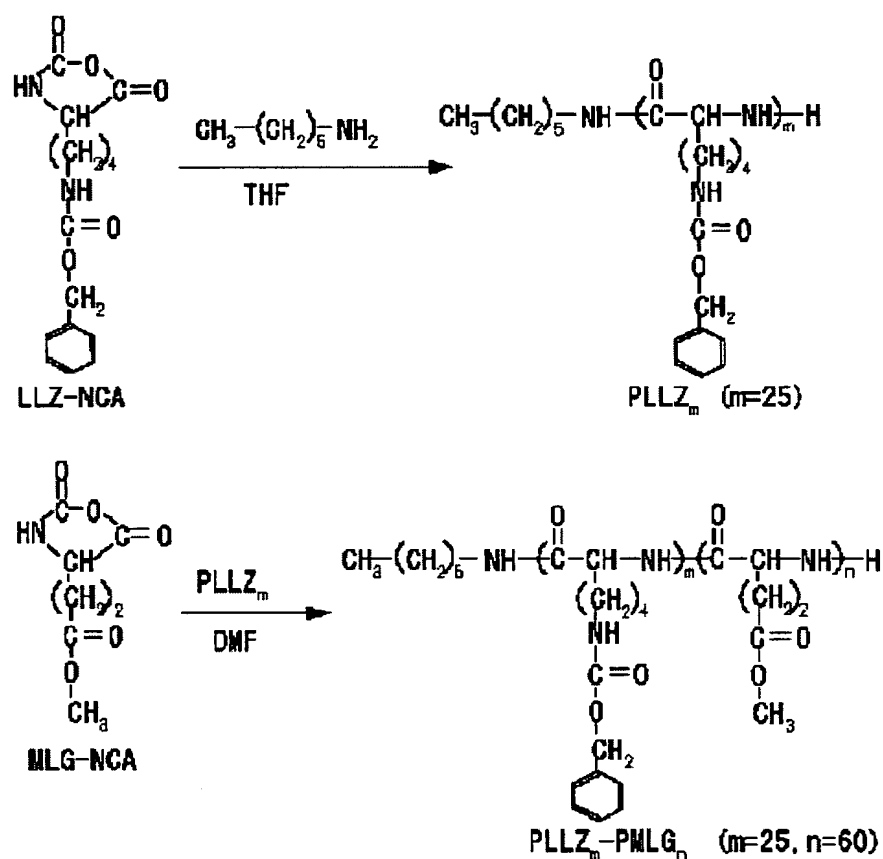
[0046]

As an example of synthesis of the  $\alpha$ -helix polypeptide, a synthesis of a

block copolypeptide [poly(L-lysine)<sub>25</sub>-poly(γ-methyl-L-glutamate)<sub>60</sub>]PLLZ<sub>25</sub>-P  
MLG<sub>60</sub> is shown below. Namely, as shown in the formulae described below, the  
block copolypeptide [poly(L-lysine)<sub>25</sub>-poly(γ-methyl-L-glutamate)<sub>60</sub>]PLLZ<sub>25</sub>-P  
MLG<sub>60</sub> can be synthesized by firstly polymerizing N<sup>ε</sup>-carbobenzoxy L-lysine  
N<sup>α</sup>-carboxylic acid anhydride (LLZ-NCA) by using n-hexylamine as an initiator  
and, then, polymerizing γ-methyl L-glutamate N-carboxylic acid anhydride  
(MLG-NCA).

[0047]

[Chemical 1]



[0048]

A synthesis of the α-helix polypeptide is not limited to the

above-described method, and the  $\alpha$ -helix polypeptide can be synthesized by a genetic engineering method. Specifically, the  $\alpha$ -helix polypeptide can be manufactured by transforming a host cell by an expression vector integrated with a DNA which encodes the polypeptide to be targeted and, thereafter, culturing the resultant transformant, or the like. Examples of such expression vectors include a plasmid vector, a phage vector and a chimeric vector of plasmid and phage. Examples of such host cells include prokaryotic microorganisms such as *E. coli* and *Bacillus subtilis*; eukaryotic microorganisms such as yeast; and animal cells.

[0049]

The  $\alpha$ -helix polypeptide may be prepared by cutting out the  $\alpha$ -helix structural portion from a natural fibrous protein such as  $\alpha$ -keratin, myosin, epidermin, fibrinogen, tropomyosin or silk fibroin.

[0050]

[DNA]

The DNA may be a single-stranded DNA. However, the DNA is preferably a double-stranded DNA from the standpoint of capability of stably maintaining the rod-shape and intercalating other substances into the interior of the molecule and the like. The double-stranded DNA has a double helix structure in which two polynucleotide chains, each in the form of a right-wound spiral, are formed such that they are positioned around a single central axis in a state in which they extend in directions opposite to each other. The polynucleotide chains are formed by four types of nucleic acid bases which are adenine (A), thymine (T), guanine (G), and cytosine (C). The nucleic acid bases in the polynucleotide chain, while existing each in the form of projecting

inwardly within a plane which is perpendicular to the central axis, form so-called Watson-Crick base pairs and, therein, thymine is specifically linked with adenine by a hydrogen bond, and cytosine is specifically linked with guanine by a hydrogen bond. As a result, in the double-stranded DNA, two polypeptide chains are linked with each other in a complementary manner.

[0051]

The DNA can be prepared by known methods such as a PCR (Polymerase Chain Reaction) method, an LCR (Ligase Chain Reaction) method, a 3SR (Self-Sustained Sequence Replication) method and an SDA (Strand Displacement Amplification) method. Among these methods, the PCR method is preferable.

[0052]

Further, the DNA may also be prepared by a method of directly cutting out enzymatically from a natural gene by using a restriction enzyme, a genetic cloning method or a chemical synthesis method.

[0053]

In a case of the genetic cloning method, a large amount of the DNA can be prepared by, for example, integrating a structure in which a normal nucleic acid has been amplified into the vector which is selected from among the plasmid vector, the phage vector and the chimeric vector of plasmid and phage and, then, introducing the vector into an arbitrary host capable of being propagated which is selected from among the prokaryotic microorganisms such as *E. coli* and *Bacillus subtilis*; the eukaryotic microorganisms such as yeast; and the animal cells. Examples of such chemical synthesis methods include a liquid phase method and a solid phase synthesis method using an insoluble carrier, such as a

tri-ester method and a phosphorous acid method. In a case of the chemical synthesis method, the double-stranded DNA can be prepared by firstly preparing a large amount of single-stranded DNA by using a known automatic synthesizing device or the like and, thereafter, subjecting the thus-prepared single-stranded DNA to annealing.

[0054]

[Amylose]

Amylose referred to in the above description is a polysaccharide having a spiral structure in which D-glucose molecules, which form starch which is a homopolysaccharide of a higher plant for storage, are joined with each other in a straight chain state by  $\alpha$ -1,4 bonds. A molecular weight of the amylose is preferably several thousands to about 150,000 as a number average molecular weight. The amylose may be a commercially available one or appropriately prepared in accordance with a known method. Amylopectin may be contained in the amylose as a portion thereof.

[0055]

Length of the rod-shaped body is not particularly limited and may be appropriately selected in accordance with the object. However, from the standpoint of generating the structural color formation to be described below, it is preferably 810 nm or less and, more preferably, 10 nm to 810 nm.

[0056]

A diameter of the rod-shaped body is not particularly limited and is about 0.8 to about 2.0 nm in a case of the  $\alpha$ -helix polypeptide.

[0057]

The entire rod-shaped body may be hydrophobic or hydrophilic, or

otherwise it may be amphiphilic such that a portion thereof is hydrophobic or hydrophilic and the other portion shows an affinity reverse to the former portion.

[0058]

In a case of such amphiphilic rod-shaped body, respective numbers of lipophilic (hydrophobic) portions and hydrophilic portions are not particularly limited, and may appropriately be selected in accordance with the object. Further, in this case, such lipophilic (hydrophobic) portion and hydrophilic portion may alternately be positioned, or any one portion thereof may be positioned only at one end portion of the rod-shaped body.

[0059]

An example of the amphiphilic rod-shaped body is shown in FIG. 1. In FIG. 1, the rod-shaped body 10 comprises a lipophilic portion (hydrophobic portion) 10a at one end side thereof and a hydrophilic portion 10b at the other end side thereof.

[0060]

In the above-described film, the above-described structural color formation, which exhibits a structural color formation, is such color formation as occurs on a surface of the film as a result after light having a specified wavelength is reflected in accordance with the thickness and the refractive index of the film when an external stimulus such as an electric field, a magnetic field, heat or light (for example, natural light, infrared light or ultraviolet light) is applied to the film based on the multilayer thin-film interference theory which is a basic principle of the color formation of scaly powder of wings of a Morpho butterfly. In this color formation, a color tone thereof can arbitrarily be

controlled by the external stimulus as with an epidermis of a chameleon.

[0061]

Hereinafter, the principle of the structural color formation will be explained. As shown in FIGS. 2 and 3, the wavelength ( $\lambda$ ) of the interference light by the film of the rod-shaped body at the time light is irradiated on the film is intensified under the condition expressed by the following formula (1) and is weakened under the condition expressed by the following formula (2):

[0062]

[Mathematical Formula 4]

$$\lambda = \frac{2 t l}{m} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{4 t l}{2 m - 1} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (2).$$

[0063]

In the above-described formulae (1) and (2),  $\lambda$  denotes the wavelength (nm) of the interference light;  $\alpha$  denotes the angle of incidence (degree) of the light onto the film;  $t$  represents the thickness (nm) of the film;  $l$  represents the number of films;  $n$  represents the refractive index of the film; and  $m$  represents an integer of 1 or more.

[0064]

Thickness of the film is, preferably, 810 nm or less and, more preferably, 10 nm to 810 nm. By appropriately changing the thickness of the film, the color (wavelength) of the structural color formation can be changed. In this case, applications to color image formation and the like are possible.

[0065]

The film may be a monomolecular film or a laminated film formed by such monomolecular films. The monomolecular film or the laminated film formed by the monomolecular films can be formed, for example, in accordance with Langmuir-Blodgett's technique (LB technique). At this time, a known LB film forming device (for example, NL-LB400NK-MWC manufactured by Nippon Laser & Electronics Laboratories, Co., or the like is suitably mentioned) may be used.

[0066]

The formation of the monomolecular film can be carried out by, for example, forming the monomolecular film on a substrate 50 by using an extruder member 60 in a state in which lipophilic (hydrophobic) or amphiphilic rod-shaped bodies are floated on a water surface (on an aqueous phase), or in a state in which hydrophilic or amphiphilic rod-shaped bodies are floated on an oil surface (on an oil phase), that is, as shown in FIG. 4, in a state in which the rod-shaped bodies 10 are oriented. By repeating such operation as described above, the laminated film, in which an arbitrary number of monomolecular films is laminated on the substrate 50, can be formed. Further, when the monomolecular film or the laminated film is fixed to the substrate 50, the structural color formation by the monomolecular film or the laminated film can stably be exhibited; such feature as described above is preferable.

[0067]

The substrate 50 is not particularly limited, and a material, configuration, size, and the like thereof can be appropriately selected in accordance with the object. However, it is preferable that the surface thereof is



subjected in advance to an appropriate surface treatment for the purpose of facilitating adhesion and bonding of the rod-shaped bodies 10 thereto. For example, in a case in which the rod-shaped bodies 10 (for example,  $\alpha$ -helix polypeptides) are hydrophilic, it is preferable to carry out in advance a surface treatment such as a hydrophilicizing treatment or the like using octadecyl-trimethyl siloxane or the like.

[0068]

When a monomolecular film of the amphiphilic rod-shaped bodies is formed, the state of the rod-shaped bodies floating on an oil phase or an aqueous phase is, as shown in FIG. 5, such that, on the aqueous phase or the oil phase, the lipophilic portions (hydrophobic portions) 10a of the rod-shaped bodies 10 are oriented adjacent to one another, and the hydrophilic portions 10b are oriented adjacent to one another.

[0069]

The above is an example of a monomolecular film or a laminated film formed by monomolecular films, in which the rod-shaped bodies are oriented in a planar direction of the monomolecular film (in a state of lying down sideways). However, a monomolecular film in which the rod-shaped bodies are oriented in a direction of thickness of the monomolecular film (in a state of standing erect) can be formed, for example, as described below. Namely, as shown in FIG. 6, first, in a state in which the amphiphilic rod-shaped bodies 10 ( $\alpha$ -helix polypeptides) are floated on the water surface (on the aqueous phase) (in the state in which the rod-shaped bodies 10 are lying down sideways), a pH of such water as described above (aqueous phase) is allowed to be alkaline of about 12. Then, the  $\alpha$ -helix structures of the hydrophilic portions 10b of the rod-shaped

bodies 10 ( $\alpha$ -helix polypeptides) come undone and the hydrophilic portions 10b come to have random structures. At this time, the  $\alpha$ -helix structures of the lipophilic portions (hydrophobic portions) 10a in the rod-shaped bodies 10 ( $\alpha$ -helix polypeptides) are maintained as they are. Next, the pH of the water (aqueous phase) is allowed to be acidic of about 5. Then, the hydrophilic portions 10b of the rod-shaped bodies 10 ( $\alpha$ -helix polypeptides) again assume  $\alpha$ -helix structures. At this time, when a pushing member, which abuts the rod-shaped bodies 10 ( $\alpha$ -helix polypeptides), pushes the rod-shaped bodies 10 ( $\alpha$ -helix polypeptides) from the side surface of the pushing member due to air pressure, the rod-shaped bodies 10 remain in their erect state with respect to the water (aqueous phase), and the hydrophilic portions 10b thereof are, in the aqueous phase, directed in a direction which is substantially orthogonal to the water surface and take on  $\alpha$ -helix structures. Then, as was described above with reference to FIG. 5, by extruding the rod-shaped bodies 10 ( $\alpha$ -helix polypeptides) on the substrate 50 by using the extruder member 60 in the state in which the rod-shaped bodies 10 ( $\alpha$ -helix polypeptides) are oriented, the monomolecular film can be formed on the substrate 50. By repeating such operation as described above, a laminated film, in which an arbitrary number of monomolecular films is laminated, can be formed on the substrate 50.

[0070]

The rod-shaped bodies are oriented in the film. In the present invention, it is preferable that the rod-shaped bodies have a structure variable body attached or bonded thereto.

[0071]

The structure variable body is not particularly limited, so long as the

structure thereof can be changed by a stimulus and can appropriately be selected in accordance with the object.

[0072]

The stimulus is not particularly limited and light, an electrical field, heat, a magnetic field, pressure and the like are mentioned. Any one of the light, the electrical field and the heat is preferable.

[0073]

Examples of structure variable bodies whose structures can be varied by light include a stereoisomer and a structural isomer.

[0074]

Examples of such stereoisomers include a configurational isomer and a conformational isomer (rotational isomer). Examples of such configurational isomers include a geometric isomer, an enantiomer and a diastereoisomer.

[0075]

Examples of such structural isomers include a skeletal isomer, a positional isomer, a functional isomer, a ring isomer and a meta-isomer. The structure variable bodies thereof in which structures are varied by light may be used alone or in combinations of two or more types.

[0076]

Examples of structure variable bodies, whose structures can be changed by an electrical field, include liquid crystalline molecules. Examples of the liquid crystalline molecules include rod-shaped liquid crystalline molecules and discotic liquid crystalline molecules.

[0085]

Examples of rod-shaped liquid crystalline molecules include azomethine

compounds, azoxy compounds, cyanobiphenyl compounds, cyanophenylester compounds, benzoic acid ester compounds, cyclohexane carboxylic acid phenylester compounds, cyanophenyl cyclohexane compounds, cyano-substituted phenylpyrimidine compounds, alkoxy-substituted phenylpyrimidine compounds, phenyldioxane compounds, tolane compounds and alkenyl cyclohexyl benzonitrile compounds. Further, polymeric liquid crystalline molecules are also suitably mentioned.

[0078]

Examples of the discotic liquid crystalline molecules include compounds described in various publications (such as C. Destrade et al., "Mol. Cryst. Liq. Cryst.", Vol. 71, p. 111 (1981); "Kikan Kagaku Sosetsu" ("Quarterly Chemical Review"), No. 22, "Ekisho no Kagaku" ("Chemistry of Liquid Crystals"), Chapter 5, Chapter 10, Section 2 (1994), edited by the Chemical Society of Japan; B. Kohne et al., Angew., "Chem. Soc. Chem. Comm.", p. 1794 (1985); J. Zhang et al., "J. Am. Chem. Soc.", Vol. 116, p. 2655 (1994)) and, further, in JP-A Nos. 5-5837, 8-27284, 8-334621 and 9-104656). One type of structure variable body, whose structure can be changed by an electrical field, may be used alone, or in combinations of two or more types.

[0079]

Examples of structure variable bodies, whose structures can be changed by heat, include substances exhibiting thermal expansion and thermal contraction, namely, substances exhibiting crystal fusion or crystallization due to heat, thermoplastic substances, thermosetting substances and the liquid crystalline molecules.

[0080]

Examples of such thermoplastic substances include thermoplastic resins, and specific examples thereof include polyethylene, polypropylene, polyvinyl chloride, polystyrene, polyvinylidene chloride, fluorocarbon resins, polymethyl methacrylate, polycondensation polyamide, polyester, polycarbonate, polyphenylene oxide, polyaddition thermoplastic polyurethane and ring-opening polymerization polyacetal. Examples of such thermosetting substances include thermosetting resins, and specific examples thereof include urea resins, melamine resins and phenol resins. The structure variable body, whose structure can be changed by heat, may be used alone, or in combinations of two or more types.

[0081]

Structure variable bodies whose structures can be reversibly changed are preferably used from the point in that they can be suitably used in various types of applications requiring control of changes in color formation. For this reason, the geometrical isomers, liquid crystalline molecules and the like are preferable, and geometrical isomers are more preferable.

[0082]

The geometrical isomer is not particularly limited, so long as the structure thereof can be changed by light. Examples thereof include cis-trans isomers and syn-anti isomers. Compounds having a structure including an azo group ( $-N=N-$ ), for example, azo compounds, azoxy compounds, and the like, are particularly suitable.

[0083]

Examples of the azo compounds include azobenzene compounds, azomethane compounds, azodicarbonamide compounds and diethyl

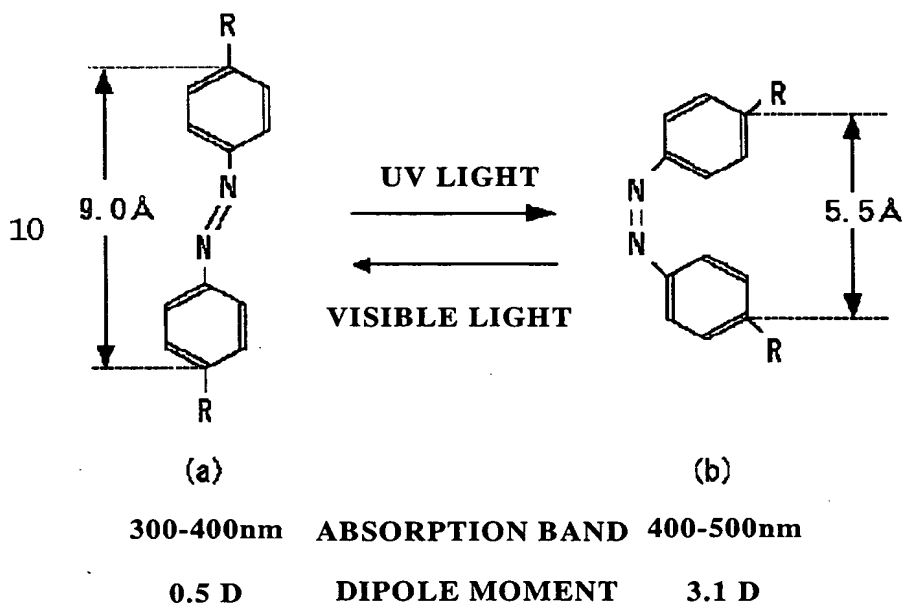
azodicarboxylic acid compounds. Examples of the azoxy compounds include azoxy dibenzoic acid compounds and azoxybenzene compounds.

[0084]

The change in the structure when the azobenzene compound is irradiated by light is described below. An azobenzene compound (trans-isomer) usually has an absorption band at 300 to 400 nm, and is a molecule in which length between the para positions and an azo group in a benzene ring is about 9.0 angstrom ((a) as described below). When this compound is irradiated with ultraviolet light, the structure changes to an azobenzene compound (cis-isomer) which is a molecule in which the length between the para positions and the azo group in the benzene ring is about 5.5 angstrom ((b) as described below). On the other hand, when the cis-isomer is irradiated with visible light, the structure of the cis-isomer is changed into that of the trans-isomer.

[0085]

[Chemical 2]



[0086]

The structure variable body may be bonded to a straight chain of the rod-shaped body 10 as shown in FIG. 7, or to a side chain of the rod-shaped body 10 as shown in FIG. 8. The method of bonding the structure variable body to the rod-shaped body is not particularly limited, and can appropriately be selected in accordance with the type of the structure variable body, the type of the rod-shaped body, and the like.

[0087]

In a case in which the structure variable body is bonded to the side chain of the rod-shaped body, a ratio of the structure variable body to an entire side chain of the rod-shaped body is not particularly limited, and can appropriately be selected in accordance with the object.

[0088]

At the image forming element, when the stimulus (light, an electrical field, heat, or the like) is acted, the structure of the structure variable body is changed. The thickness of the film in the image forming element is freely changed due to the change in the structure of the structure variable body. For example, in a case in which the rod-shaped bodies in the image forming element are allowed to be each an  $\alpha$ -helix polypeptide and the structure variable bodies bonded to the rod-shaped bodies are an azobenzene compound, in a state in which one end of the azobenzene compound is bonded to one end of the  $\alpha$ -helix polypeptide and the other end of the azobenzene compound is bonded to the substrate, as shown in FIG. 9, the azobenzene compound assumes a trans structure at the time the visible light is irradiated, while it assumes a cis structure at the time the ultraviolet light is irradiated. The thickness of the

film is greater when the azobenzene compound has a trans structure than when it has a cis structure. Further, in a state in which one end of the azobenzene compound is bonded to the peripheral side face of the  $\alpha$ -helix polypeptide and the  $\alpha$ -helix polypeptide is fixed to the substrate in a state of being oriented horizontally, as shown in FIG. 10, the azobenzene compound assumes the trans structure at the time the visible light is irradiated, and assumes the cis structure at the time the ultraviolet light is irradiated. The thickness of the film is greater when the azobenzene compound has a trans structure than when it has a cis structure.

[0089]

On this occasion, when the thickness of the film in the image forming element is determined such that the structural color formation is exhibited at the time the ultraviolet light is irradiated and the structural color formation is not exhibited at the time the visible light is irradiated, the structural color formation can be exhibited in an ON-OFF manner. Further, when the thickness of the film in the image forming element is determined such that the color formation due to the structural color formation is exhibited at the time the ultraviolet light is irradiated and another color formation is exhibited at the time the visible light is irradiated, the structural color formation can be changed between two colors. Such image forming elements can suitably be used in image formation.

[0090]

The image forming element is easy to manufacture, can form images easily and at a low cost, is safe without the fear of causing environmental problems at the time of disposal, can be used widely in various types of fields,



can suitably be used in the field of image formation and in the field of color image formation, and can particularly suitably be used in the image forming apparatus according to the present invention.

[0091]

The image forming apparatus according to the present invention comprises at least the image forming element according to the present invention, and a light irradiating means which irradiates light on the image forming element. In a case in which the image forming element has the structure variable body, the image forming apparatus also comprises stimulus imparting means which imparts a stimulus to the structure variable body and, further, optionally comprises other means which are appropriately selected.

[0092]

The image forming apparatus comprises the image forming element as a pixel for image formation. The pixel may be formed by a single type of the image forming element, or by simultaneously using two or more types of the image forming elements. In the latter case, it is preferable to form the pixel by appropriately selecting the combination of wavelengths of the interference light by the image forming elements which are simultaneously used, namely, specifically, by simultaneously using an image forming element in which color formation by interference light is blue (blue element), an image forming element in which color formation by interference light is green (a green element) and an image forming element in which color formation by interference light is red (a red element). This case is preferable from the point in that the color formation of the pixels can be performed in full color. In this case, when the blue color element and the green color element reflect light, the pixel exhibits a cyan color;

when the blue element and the red element reflect light, the pixel exhibits a magenta color; and when the green element and the red element reflect light, the pixel exhibits a yellow color.

[0093]

In the present invention, when the color formation by such interference color is blue, it suffices that the wavelength of the interference light is in a wavelength region which generally exhibits blue and is, for example, in the wavelength region of about 400 nm to less than 500 nm. When the color formation by the interference color is green, it suffices that the wavelength of the interference light is in the wavelength region which generally exhibits green and is, for example, in the wavelength region of about 500 nm to less than 600 nm. When the color formation by the interference color is red, it suffices that the wavelength of the interference light is in the wavelength region which generally exhibits red and is, for example, in the wavelength region of about 600 nm to less than 700 nm.

[0094]

The light irradiating means is not particularly limited and may appropriately be selected in accordance with the object. Suitable examples include a light source which can irradiate visible light. It is preferable that driving the light irradiating means is controlled by a controlling means such as a computer.

[0095]

The stimulus imparting means is not particularly limited and may appropriately be selected in accordance with the type of the structure variable body. Suitable examples include a light source which can switch between

irradiating visible light and irradiating ultraviolet light, a power source which can apply an electrical field and a heat source which can apply heat. It is preferable that the driving of the stimulus imparting means is controlled by a controlling means such as a computer.

[0096]

Modes of the image forming apparatus are not particularly limited and may appropriately be selected in accordance with the object. For example, a mode in which the image forming element reflects light which is irradiated by the light irradiating means as interference light and, also, the wavelength of the interference light is 300 to 810 nm is preferable. Further, preferable is another mode in which, as the image forming elements, the image forming apparatus comprises at least an image forming element in which color formation by interference light is blue; an image forming element in which the color formation by the interference light is green; and an image forming element in which the color formation by the interference light is red and, also, the pixel is formed by these image forming elements.

[0097]

Still further, preferable is another mode in which the image forming apparatus comprises the stimulus imparting means, and the structure of the structure variable body in the image forming element is reversibly varied to a first structure and a second structure by a stimulus of the stimulus imparting means, and the wavelength of the interference light by the image forming element in a case in which the structure variable body has at least one of the first structure and the second structure is 300 to 810 nm.

[0098]

Furthermore, preferable is another mode in which the image forming apparatus comprises the stimulus imparting means, and the structure of the structure variable body in the image forming element is reversibly varied to a first structure and a second structure by a stimulus of the stimulus imparting means, and the wavelength of the interference light by the image forming element in a case in which the structure variable body has at least one of the first structure and the second structure is 300 to 810 nm.

[0099]

In addition, preferable is another mode in which the image forming apparatus comprises the stimulus imparting means, and has a plurality of pixels each having at least an image forming element (hereinafter, referred to also as “blue element”) in which the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has a first structure is blue and the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has a second structure (meaning a case in which the interference light is light other than visible light; hereinafter, the same holds true) is colorless, and an image forming element (hereinafter, “green element”) in which the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has a first structure is green and the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has a second structure is colorless, and an image forming element (hereinafter, “red element”) in which the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has a first structure is red and the color formation by the interference light in a case in which the structure variable body has a second structure is colorless. In other words, a mode in which the image forming apparatus has a plurality of

pixels, each having the blue element, the green element and the red element, is preferable. In the case of this mode, when the stimulus imparting means imparts a blue color forming stimulus, a green color forming stimulus, and a red color quenching stimulus, at the pixel, a cyan color is exhibited by a synthesis of the formed colors of blue and green. When the stimulus imparting means imparts a blue color forming stimulus, a green color quenching stimulus, and a red color forming stimulus, at the pixel, a magenta color is exhibited by the synthesis of the formed colors of blue and red. When the stimulus imparting means imparts a blue color quenching stimulus, a green color forming stimulus and a red color forming stimulus, at the pixel, a yellow color is exhibited by the synthesis of the formed colors of green and red. Accordingly, the image forming apparatus is preferable from the point in that formation of a full color image is possible by combining these pixels.

[0100]

Since the image forming apparatus uses the image forming element according to the present invention, the image forming apparatus is easy to manufacture, can form images easily and at a low cost, is safe without the fear of causing environmental problems at the time of disposal, can form color images, and can suitably be used in various types of fields of image formation.

[0101]

[EXAMPLES]

Hereinafter, embodiments according to the present invention will be explained. However, the present invention is by no means limited thereto.

[0102]

(EXAMPLE 1)

A monomolecular film of an  $\alpha$ -helix polypeptide was formed on a substrate, and thereon, another monomolecular film which was the same was layered, so as to form a laminated film. An image forming element according to the present invention was thus prepared. As will be described hereinafter, it was confirmed that the image forming element exhibited a structural color formation as described below. The relationship between the structural color formation and the number of layered monomolecular films of the image forming element was also investigated.

[0103]

A poly(n-hexyl L-glutamate), whose monomer unit was a structure in which the hydrogen atom of the carboxyl group of the glutamic acid was substituted by an n-hexyl group (hereinafter, referred to also as "PHeLG"), was used as the  $\alpha$ -helix polypeptide. This PHeLG was obtained by a polymerization reaction of L-glutamic acid- $\gamma$ -methyl ester using benzyl amine as a polymerization initiator. The degree of polymerization was 114 as measured by  $^1\text{H}$ -NMR measurement. The substrate was a silicon substrate (manufactured by Shin-Etsu Chemical Co., Ltd.) which was subjected to a surface treatment by using octadecyl trimethoxysilane (manufactured by Tokyo Kasei Kogyo Co., Ltd.). The monomolecular film was formed by using an LB film forming device (NL-LB400NK-MWC manufactured by Nippon Laser & Electronics Laboratory, Co.). In the PHeLG, a pitch of the spiral of the  $\alpha$ -helix was 0.15 (nm/amino acid residue), and a diameter of the  $\alpha$ -helix was 1.5 (nm).

[0104]

When the FT-IR spectrum of a laminated film in which 120 of the monomolecular films were laminated one on top of another was measured, four

peaks were obtained. One was a peak of  $1738\text{ cm}^{-1}$  based on the C=O group of the side chain. Another was a strong peak of  $1656\text{ cm}^{-1}$  based on the amide group I in the  $\alpha$ -helix structure. Yet another was a small, weak peak of  $1626\text{ cm}^{-1}$  based on the amide group I in the  $\beta$ -structure. The last one was a peak of  $1551\text{ cm}^{-1}$  based on the amide group II in the  $\alpha$ -helix structure. From these results of measurements of the FT-IR spectrum, it was confirmed that the PHeLG molecule maintains the  $\alpha$ -helix structure in the monomolecular film.

[0105]

Since the thickness of a laminated film when 20 monomolecular films formed by PHeLG were laminated one on top of another was 32 nm, the thickness of each monomolecular film formed by PHeLG was 1.6 nm.

[0106]

Next, the relationship between the number of layers in the laminated film formed by the monomolecular films and the structural color formation was investigated. Laminated films formed by layering 60, 70 and 80 monomolecular films, respectively, exhibited the visible light reflection spectra as shown in FIG. 11. Further, it was confirmed that a laminated film in which 40 to 50 monomolecular films were layered exhibited the color formation of brown color; a laminated film in which 60 to 70 monomolecular films were layered exhibited dark blue (a deep blue); a laminated film in which 80 to 100 monomolecular films were layered exhibited light blue (a weak blue); a laminated film in which up to around 120 monomolecular films were layered exhibited yellow color; and a laminated film in which up to 160 monomolecular films were layered exhibited red-violet.

[0107]

Specifically, the visible light reflection spectra of the laminated film in which 40 monomolecular films were layered, a laminated film in which 80 monomolecular films were layered, and a laminated film in which 120 monomolecular films were layered, are shown in FIG. 12. As can be seen from FIG. 12, the reflectance (%) of the laminated film in which 80 films were layered exhibited a maximum peak at 418 nm, and this laminated film became blue. Further, the reflectance (%) of the laminated film in which 40 films were layered exhibited a minimum at 456 nm, and this laminated film became brown (dark orange) which is a complementary color of blue. The reflectance (%) of the laminated film in which 120 films were layered exhibited a maximum peak at 619 nm, and the reflectance (%) exhibited a minimum at 409 nm and, then, the laminated film became yellow color based on the intensified light of 619 nm rather than the weakened light of a wavelength of 409 nm.

[0108]

The wavelength ( $\lambda$ ) of the visible light reflection spectrum was affected by the angle of incidence ( $\alpha$ ) of the light onto the laminated film formed by the monomolecular films. The condition under which the wavelength ( $\lambda$ ) was intensified is as represented by the following formula (1), and the condition under which the wavelength ( $\lambda$ ) was weakened is as represented by the following formula (2):

[0109]

[Mathematic Formula 5]



$$\lambda = \frac{2 t l}{m} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{4 t l}{2 m - 1} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (2).$$

[0110]

In formula (1) and formula (2),  $\lambda$  denotes the wavelength (nm) of the interference light;  $\alpha$  denotes the angle of incidence (degree) of light onto the monomolecular film or the laminated film;  $t$  represents the thickness (nm) of the monomolecular film;  $l$  represents the number of monomolecular films;  $n$  represents the refractive index of the monomolecular film; and  $m$  represents an integer of 1 or more.

[0111]

The relationship between the wavelength ( $\lambda$ ) of the visible light reflection spectrum and the angle of incidence ( $\alpha$ ) of the light onto the laminated film formed by the monomolecular films was investigated and found to be as shown in FIG. 13. As shown in FIG. 13, the actual measured values of the wavelengths ( $\lambda$ ) of 5 reflection spectra for five angles of incidence ( $\alpha$ ), and the wavelengths ( $\lambda_s$ ) computed by using above formulas (1) and (2) substantially coincided. Further, in FIG. 13, the mark "solid diamond" denotes the minimum spectrum of a laminated film in which 40 films were layered, the mark "quadrature" denotes the maximum spectrum of a laminated film in which 80 films were layered, the mark "large circle" denotes the maximum spectrum of a laminated film in which 120 films were layered, and the mark "solid circle" denotes the minimum spectrum of the laminated film in which 120 films were

layered. Further, line I is the results of computation by formula (1) under the conditions of  $l=120$  and  $m=1$ . Line II is the results of computation by formula (1) under the conditions of  $l=80$  and  $m=1$ , or by formula (2) under the conditions of  $l=40$  and  $m=1$ , or by formula (2) under the conditions of  $l=120$  and  $m=2$ . In all of these cases, other conditions are  $t=1.7$  (nm) and  $n=1.6$  (The lines of the three types of results of computation substantially overlap one another.).

[0112]

From the above results, it can be understood that, when the image forming element of Example 1 was used, a color image was able to be formed.

[0113]

#### (EXAMPLE 2)

Firstly,  $\alpha$ -helix-copolyptide  $PLLZ_{25}-P(MLG_{42}/LGA_{18})$  was prepared as described below as the  $\alpha$ -helix polypeptide which was the rod-shaped body. Namely, the polymerization of N<sup>ε</sup>-carbobenzoxy L-lysine N<sup>α</sup>-carboxy acid anhydride (LLZ-NCA) was carried out by using n-hexylamine as an initiator. Next, by polymerizing  $\gamma$ -methyl L-glutamate N-carboxy acid anhydride (MLG-NCA), a block copolyptide  $PLLZ_x-PMLG_y$ , in which the degree of polymerization of the PLLZ portion was x and the degree of polymerization of the PMLG portion was y, was prepared. Thereafter, the PMLG segment was partially hydrolyzed and allowed to be L-glutamic acid (LGA), such that  $\alpha$ -helix copolyptide  $PLLZ_x-P(MLG_y/LGA_z)$  was prepared. Then, azobenzene compound was bonded to one end of the  $\alpha$ -helix copolyptide  $PLLZ_x-P(MLG_y/LGA_z)$ , and this azobenzene compound was fixed to the substrate used in Example 1. A plurality of structures as described above were oriented such that a molecular film was formed, to thereby prepare an image

forming element.

[0114]

Three types of image forming elements were obtained whose degrees of polymerization ( $X+Y+Z$ ) of the  $\alpha$ -helix-copolyptide were set in the range of 260 to 5400, and the obtained image forming elements had three types of thicknesses. One type of image forming element was an image forming element (hereinafter, referred to also as "blue element") in which the color formation by the interference light when the azobenzene compound had a trans structure was blue (the wavelength of the interference light was about 400 nm to less than 500 nm) and in which the color formation by the interference light when the azobenzene compound had a cis structure was colorless (the wavelength of the interference light was other than 300 to 810 nm). Another type was an image forming element (hereinafter, referred to also as "green element") in which the color formation by the interference light when the azobenzene compound had a trans structure was green (the wavelength of the interference light was about 500 nm to less than 600 nm) and in which the color formation by the interference light when the azobenzene compound had a cis structure was colorless (the wavelength of the interference light was other than 300 to 810 nm). The final type was an image forming element (hereinafter, referred to also as "red element") in which the color formation by the interference light when the azobenzene compound had a trans structure was red (the wavelength of the interference light was about 600 nm to less than 700 nm) and in which the color formation by the interference light when the azobenzene compound had a cis structure was colorless (the wavelength of the interference light was other than 300 to 810 nm).

[0115] The image forming apparatus in Example 2 comprised a plurality of pixels each having the above-described blue element, green element and red element. Further, the image forming apparatus further comprised, as the light irradiating means, a light source which irradiated visible light onto these elements and, also, as the stimulus imparting means, a light source (stimulus imparting light source) which alternately irradiated visible light and ultraviolet light onto the azobenzene compound in these elements. These two light sources were designed such that the driving thereof was able to be controlled by a computer.

[0116]

In the image forming apparatus, since the stimulus imparting light source irradiated visible light as the blue color forming stimulus, the azobenzene compound in the blue element was changed to a trans structure. As a result, the thickness of the film in the blue element was changed. Accompanying the changes of the azobenzene compound between the trans structure and the cis structure, the thickness of the film was reversibly changed between two thicknesses which are a thickness in the case in which the azobenzene compound in the blue element was a trans structure and the thickness when the azobenzene compound was a cis structure. The light source irradiated visible light onto the blue element. Then, at the time the thickness of the film in the blue element was the thickness in the case in which the azobenzene compound was the trans structure, blue interference light was reflected from the film. Then, blue color formation occurred on the surface of the film. On the other hand, when the stimulus imparting light source irradiated ultraviolet light as the blue color quenching stimulus, the azobenzene compound in the blue element was changed

from a trans structure to a cis structure. As a result, the thickness of the film in the blue element was changed to the thickness at the time the azobenzene compound was a cis structure. At the time the thickness of the film was the thickness in the case in which the azobenzene compound was the cis structure, the film reflected colorless interference light. Namely, light other than visible light was reflected and, thus, the above-described structural color formation did not occur.

[0117]

When the stimulus imparting light source irradiated the visible light as the green color forming stimulus, in the same manner as in the blue element, the light irradiated onto the film in the green element was reflected as green interference light. Then, green color formation occurred on the surface of the film. On the other hand, when the stimulus imparting light source irradiated ultraviolet light as the green color quenching stimulus, the thickness of the film in the green element was changed to the thickness in the case in which the azobenzene compound was a cis structure. In this case, since the film reflected colorless interference light, namely, since light other than visible light was reflected, the structural color formation did not occur. When the stimulus imparting light source irradiated visible light as the red color forming stimulus, in the same manner as in the blue element, the light irradiated onto the film in the red element was reflected as red interference light. Then, red color formation occurred on the surface of the film. On the other hand, when the stimulus imparting light source irradiated ultraviolet light as the red color quenching stimulus, the thickness of the film in the red element was changed to the thickness in the case in which the azobenzene compound was a cis structure.

**In this case, since the film reflected colorless interference light, namely, since light other than visible light was reflected, the structural color formation did not occur.**

**[0118]**

**In the image forming apparatus, it was confirmed that, when the stimulus imparting light source imparted the blue color forming stimulus, the green color forming stimulus, and the red color quenching stimulus and, then, the light source irradiated visible light onto the pixel, at the pixel, the cyan color was formed by the synthesis of color formations of the blue and green colors. Further, in the image forming apparatus, it was confirmed that, when the stimulus imparting light source imparted the blue color forming stimulus, the green color quenching stimulus, and the red color forming stimulus and, then, the light source irradiated visible light onto the pixel, at the pixel, the magenta color was formed by the synthesis of color formations of the blue and red colors. Still further, in the image forming apparatus, it was confirmed that, when the stimulus imparting light source imparted the blue color quenching stimulus, the green color forming stimulus, and the red color forming stimulus and, then, the light source irradiated visible light onto the pixel, at the pixel, the yellow color was formed by the synthesis of color formations of the green and red colors. When color formation control of these pixels was simultaneously performed, a full color image was able to be formed.**

**[0119]**

**[Advantage of the Invention]**

**According to the present invention, the image forming element which can solve various types of problems related to prior art, can easily be**

manufactured at a low cost, can conventionally form the image and is safe without the fear of causing the environmental problem at the time of disposal, and the image forming apparatus which can form the color image by using the image forming element can be provided.

**[Brief Description of the Drawings]**

**[FIG. 1]** FIG. 1 is a schematic explanatory view illustrating an example of an amphiphilic rod-shaped body.

**[FIG. 2]** FIG. 2 is a schematic view for explaining interference of light due to a monomolecular film of the rod-shaped bodies provided on a substrate.

**[FIG. 3]** FIG. 3 is a schematic view for explaining the principle of structural color formation.

**[FIG. 4]** FIG. 4 is a schematic explanatory view illustrating formation of a monomolecular film by the rod-shaped bodies.

**[FIG. 5]** FIG. 5 is a schematic explanatory view illustrating an example of a state in which the amphiphilic rod-shaped bodies are oriented on water (aqueous phase).

**[FIG. 6]** FIG. 6 is a schematic explanatory view illustrating an example of a method of allowing the amphiphilic rod-shaped bodies to stand erect on water (aqueous phase).

**[FIG. 7]** FIG. 7 is a schematic explanatory view illustrating an aspect in which a structure variable body is bonded to one end of the rod-shaped body.

**[FIG. 8]** FIG. 8 is a schematic explanatory view illustrating an aspect in which structure variable bodies are bonded to a peripheral side face of the rod-shaped body.

**[FIG. 9]** FIG. 9 is a schematic explanatory view illustrating an example of an

image forming element according to the present invention.

[FIG. 10] FIG. 10 is a schematic explanatory view illustrating another example of an image forming element according to the present invention.

[FIG. 11] FIG. 11 is a graph showing the relationship between wavelengths of the structural color formation by laminated films (60 layers, 70 layers, 80 layers) in which monomolecular films of the rod-shaped bodies are laminated one on top of another and thicknesses of the laminated films.

[FIG. 12] FIG. 12 is a graph showing the relationship between wavelengths of the structural color formation by laminated films (40 layers, 80 layers, 120 layers) in which monomolecular films of the rod-shaped bodies are laminated one on top of another and thicknesses of the laminated films.

[FIG. 13] FIG. 13 is a graph showing the relationship between angles of incidence  $\alpha$  (.degree.) of light on laminated films (40 layers, 80 layers, 120 layers) in which monomolecular films of the rod-shaped bodies are laminated one on top of another and reflection wavelengths  $\lambda$  (nm).

[Description of Reference Numerals and Signs]

- 10 rod-shape body
- 10a lipophilic portion (hydrophobic portion)
- 10b hydrophilic portion
- 30 structure variable body
- 50 substrate
- 60 extruder member



FIG. 1

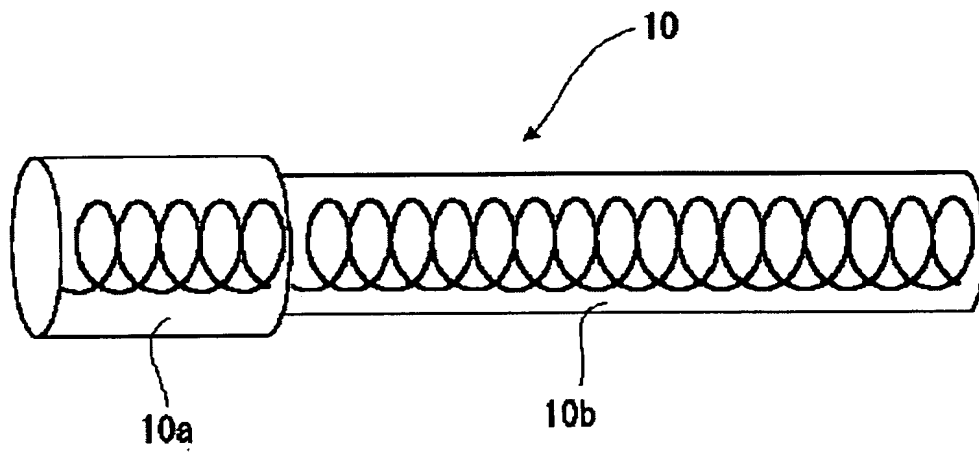


Fig. 2

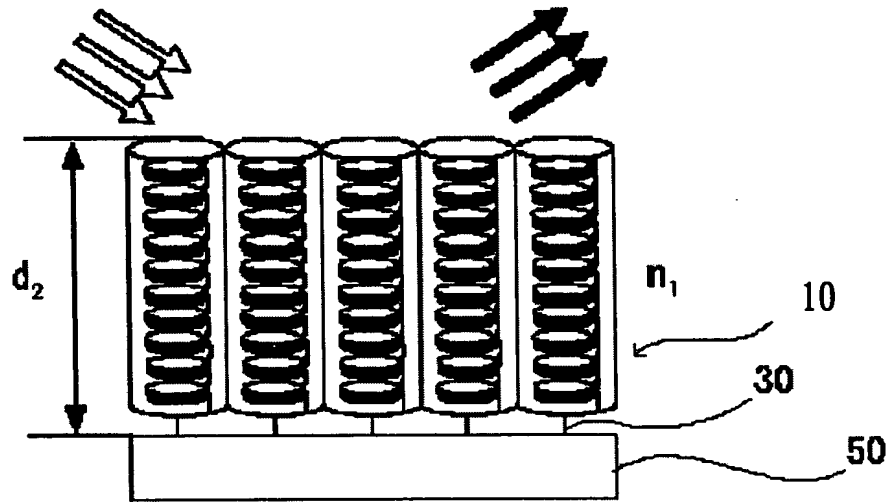


Fig. 3

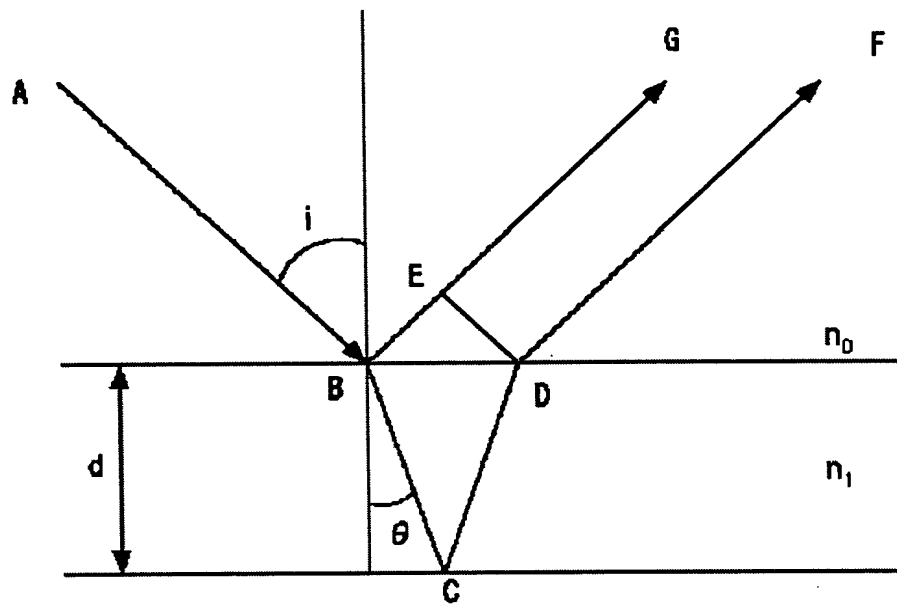


Fig. 4

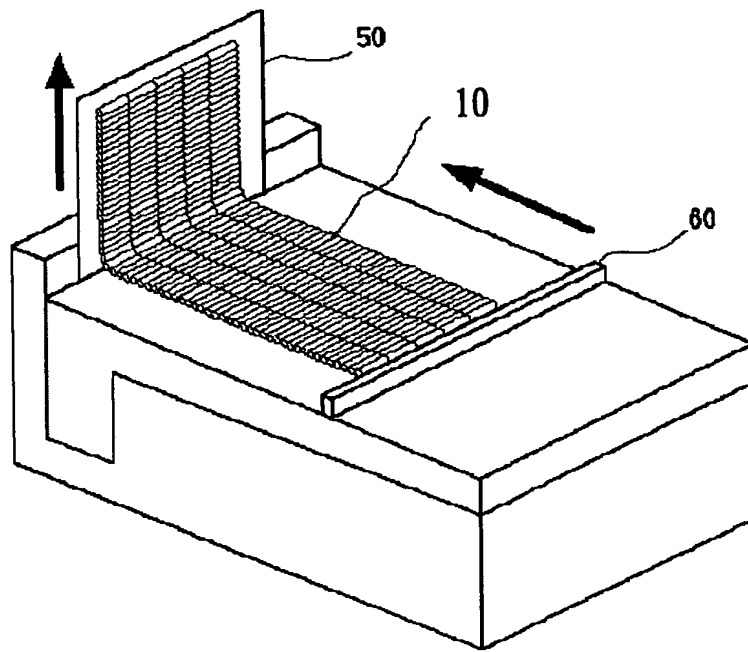


Fig. 5

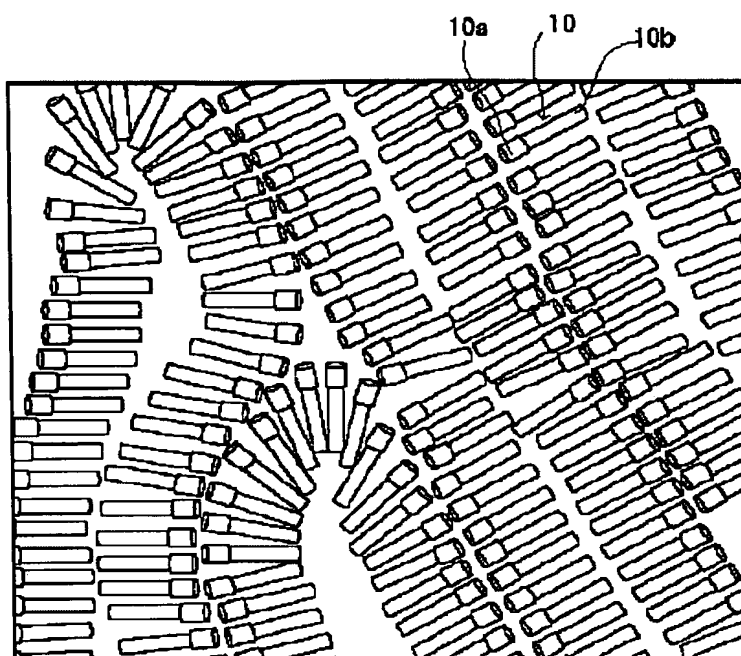


Fig. 6

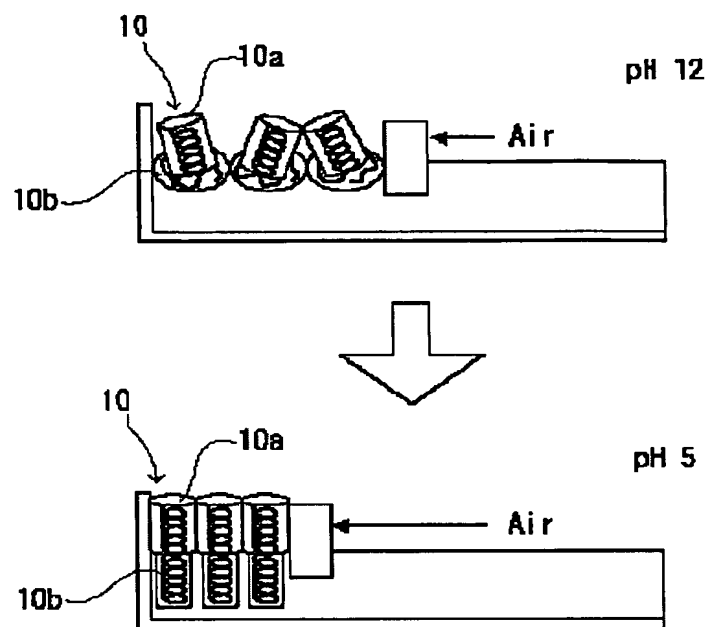


Fig. 7

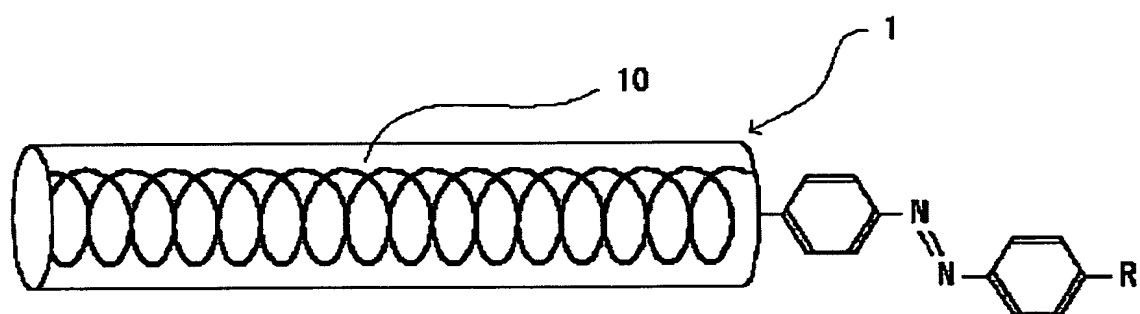


Fig. 8

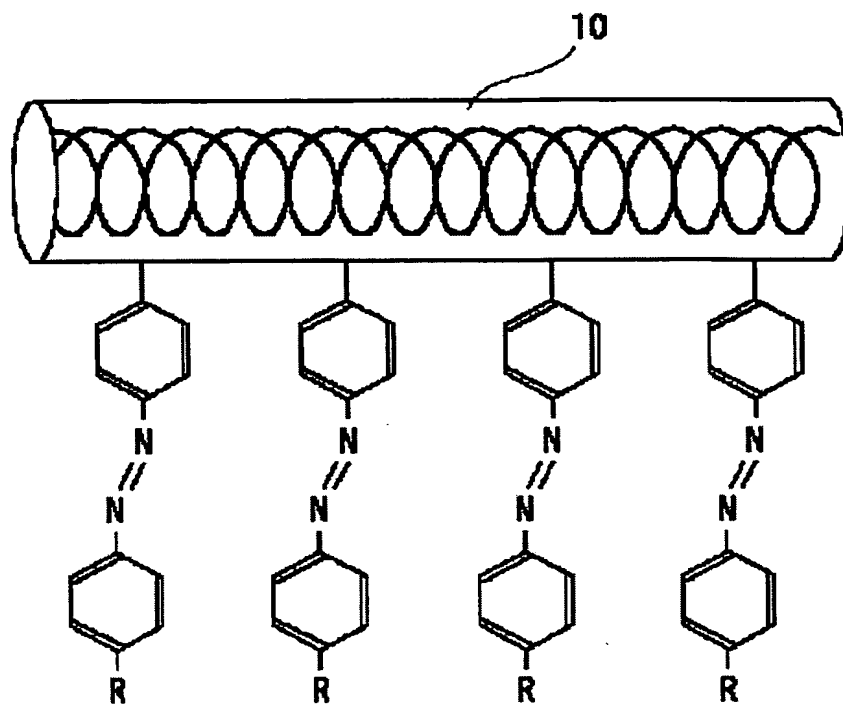




Fig. 9

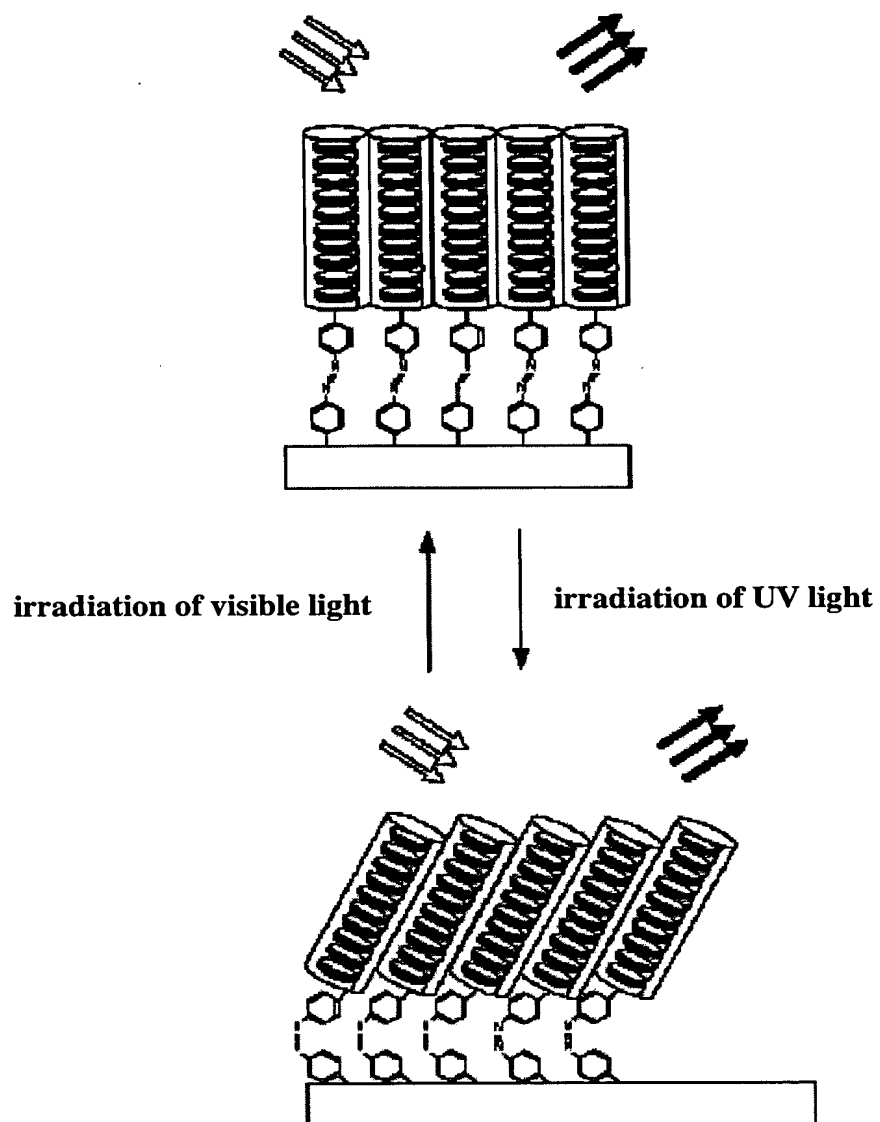


Fig. 10

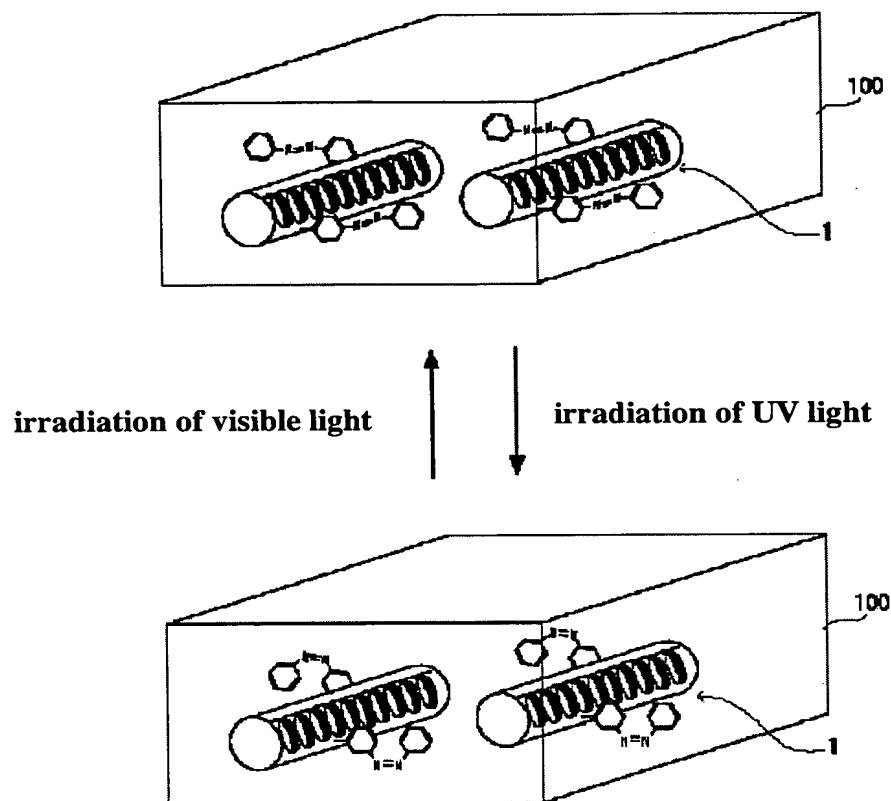


Fig. 11

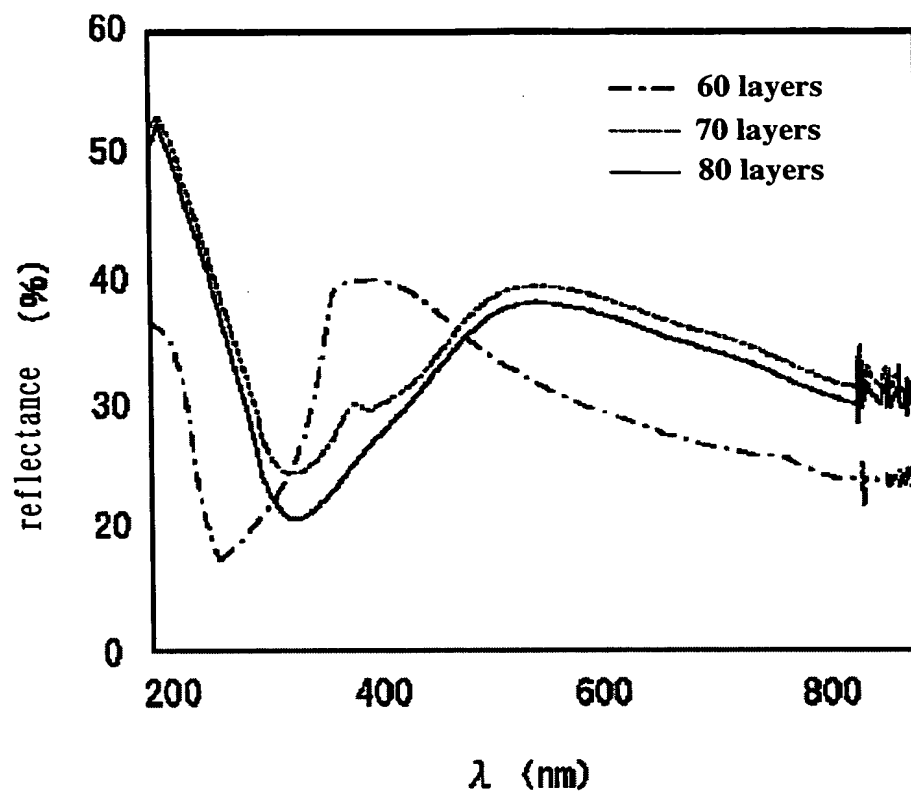


Fig. 12

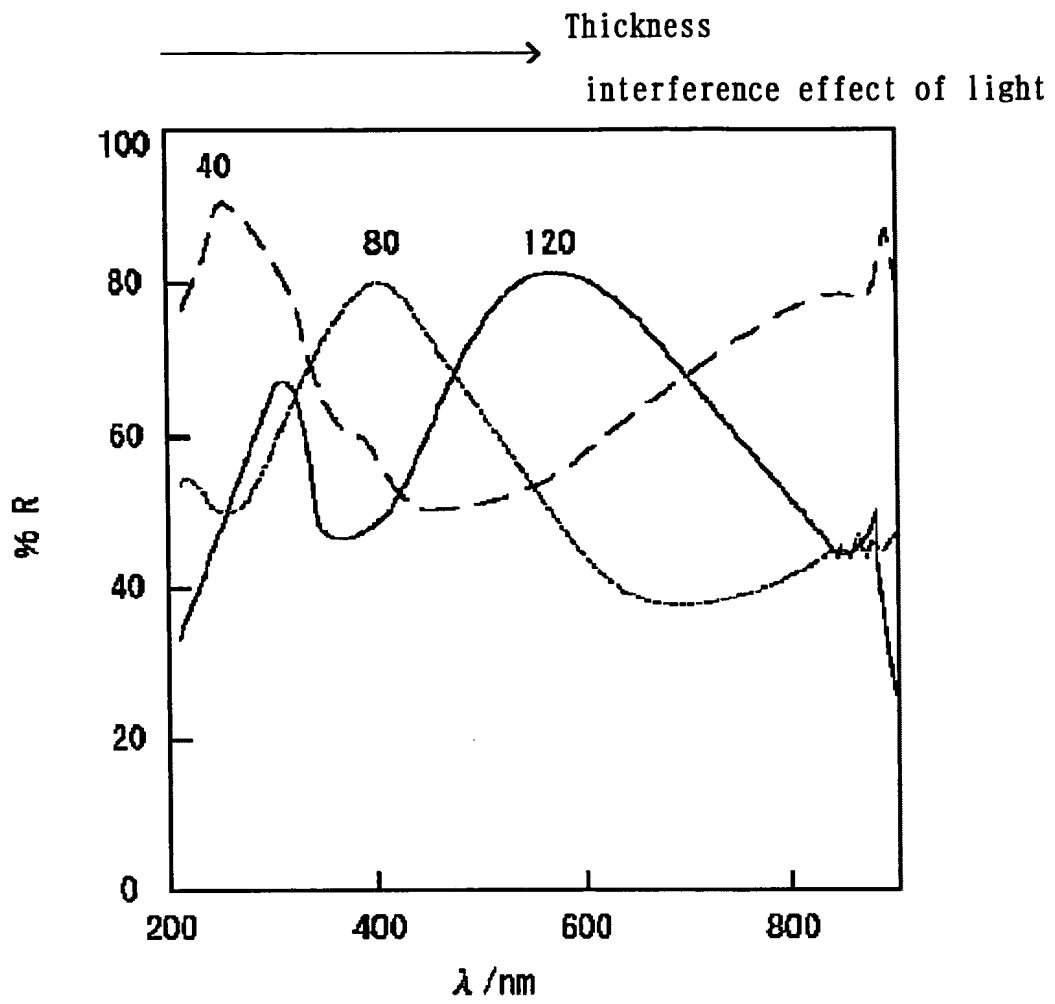
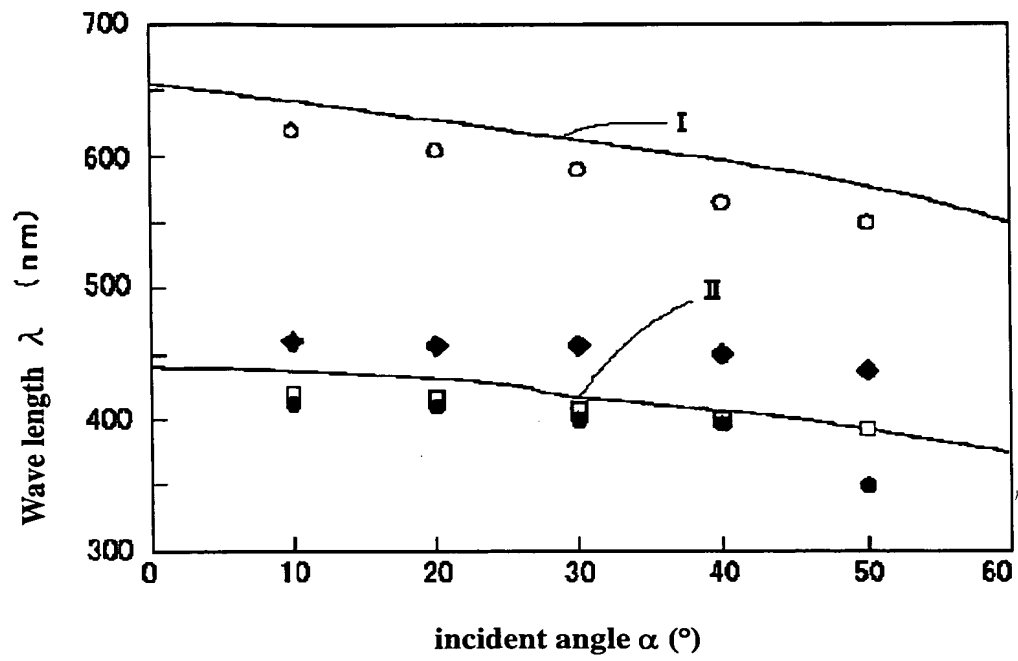


Fig. 13



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-287184  
(P2002-287184A)

(43) 公開日 平成14年10月3日 (2002.10.3)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト (参考)
G 0 2 F 1/21		G 0 2 F 1/21	2 H 0 8 8
1/13	5 0 5	1/13	5 0 5
G 0 9 F 19/12		G 0 9 F 19/12	H

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2001-86313(P2001-86313)

(22) 出願日 平成13年3月23日 (2001.3.23)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成12年11月28日  
科学技術振興事業団主催の「平成12年度シンポジウム」  
において文書をもって発表

(71) 出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社  
神奈川県南足柄市中沼210番地

(72) 発明者 鷲巣 信太郎

静岡県富士宮市大中里200番地 富士写真  
フイルム株式会社内

(74) 代理人 100107515

弁理士 廣田 浩一 (外2名)

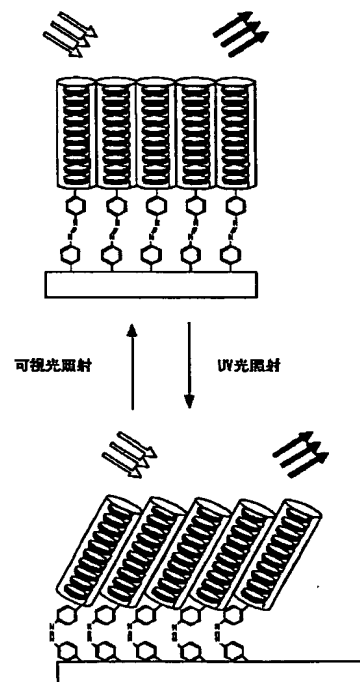
Fターム(参考) 2H088 EA37 FA18 FA23 GA01 GA06

(54) 【発明の名称】 画像形成素子及び画像形成装置

(57) 【要約】

【課題】 製造が容易で、低コストで簡便に画像形成でき、廃棄時に環境問題を生ずるおそれなく安全な画像形成素子、及びカラー画像を形成可能な画像形成装置の提供。

【解決手段】 棒状体が配向してなり構造的発色を示す膜を少なくとも有する画像形成素子である。膜の厚みが810nm以下である態様、棒状体が棒状有機分子であり、膜が該棒状有機分子の単分子膜及び該単分子膜の積層膜のいずれかである態様、棒状体が $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドである態様、棒状体の端部及び／又は周側面に、刺激により構造が可変である構造可変体が結合した態様等が好ましい。前記画像形成素子と、該画像形成素子に光を照射する光照射手段とを少なくとも備え、該画像形成素子が、前記光照射手段による光を干渉光として反射し、該干渉光の波長が300～810nmである画像形成装置である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 棒状体が配向してなり構造型発色を示す膜を少なくとも有することを特徴とする画像形成素子。

【請求項 2】 膜の厚みが 810 nm 以下である請求項 1 に記載の画像形成素子。

【請求項 3】 棒状体が棒状有機分子であり、膜が、該棒状有機分子の単分子膜及び該単分子膜の積層膜のいずれかである請求項 1 又は 2 に記載の画像形成素子。

【請求項 4】 膜による干渉光が、下記数式 (1) の条件で強められ、下記数式 (2) の条件で弱められる請求項 1 から 3 のいずれかに記載の画像形成素子。

【数 1】

$$\lambda = \frac{2t}{m} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{4t}{2m-1} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (2)$$

但し、前記数式 (1) 及び数式 (2) において、 $\lambda$  は、干渉光の波長 (nm) を示し、 $\alpha$  は、膜への光の入射角 (度) を示し、 $t$  は、膜の厚み (nm) を示し、 $l$  は、膜の積層数を示し、 $n$  は、膜の屈折率を示し、 $m$  は、1 以上の整数を示す。

【請求項 5】 膜が基板上に固定された請求項 1 から 4 のいずれかに記載の画像形成素子。

【請求項 6】 棒状体が  $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドである請求項 1 から 5 のいずれかに記載の画像形成素子。

【請求項 7】 棒状体の端部及び周側面の少なくともいずれかに、刺激により構造が可変である構造可変体が結合してなる請求項 1 から 6 のいずれかに記載の画像形成素子。

【請求項 8】 構造可変体の構造が変化すると発色に変化する請求項 7 に記載の画像形成素子。

【請求項 9】 構造可変体が、光、熱及び電場のいずれかにより構造が可変である請求項 7 又は 8 に記載の画像形成素子。

【請求項 10】 構造可変体が、幾何異性体、熱可塑性物質、熱硬化性物質及び液晶性分子から選択される請求項 9 に記載の画像形成素子。

【請求項 11】 構造可変体がアゾベンゼン化合物である請求項 10 に記載の画像形成素子。

【請求項 12】 請求項 1 から 11 のいずれかに記載の画像形成素子と、該画像形成素子に光を照射する光照射手段とを少なくとも備えてなり、該画像形成素子が、前記光照射手段による光を干渉光として反射し、該干渉光の波長が 300 ~ 810 nm であることを特徴とする画像形成装置。

【請求項 13】 干渉光による発色が青色である画像形成素子、干渉光による発色が緑色である画像形成素子、

及び、干渉光による発色が赤色である画像形成素子を少なくとも有する画素を複数有してなる請求項 12 に記載の画像形成装置。

【請求項 14】 請求項 7 から 11 のいずれかに記載の画像形成素子と、該画像形成素子に光を照射する光照射手段と、該画像形成素子における構造可変体に刺激を付与する刺激付与手段とを少なくとも備えてなり、該画像形成素子が、前記光照射手段による光を干渉光として反射し、該干渉光の波長が 300 ~ 810 nm であることを特徴とする画像形成装置。

【請求項 15】 画像形成素子における構造可変体の構造が、刺激付与手段の刺激により第一の構造及び第二の構造に可逆的に変化し、該構造可変体が第一の構造及び第二の構造の少なくとも一方である場合における該画像形成素子による干渉光の波長が 300 ~ 810 nm である請求項 14 に記載の画像形成装置。

【請求項 16】 構造可変体が第一の構造である場合における干渉光による発色が青色であり、かつ構造可変体が第二の構造である場合における干渉光による発色が無色である画像形成素子と、構造可変体が第一の構造である場合における干渉光による発色が緑色であり、かつ構造可変体が第二の構造である場合における干渉光による発色が無色である画像形成素子と、構造可変体が第一の構造である場合における干渉光による発色が赤色であり、かつ構造可変体が第二の構造である場合における干渉光による発色が無色である画像形成素子とを少なくとも有する画素を複数有してなる請求項 14 又は 15 に記載の画像形成装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、構造型発色を示す画像形成素子及びそれを用いた画像形成装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来から、各種の画像形成素子及びそれを用いた画像形成装置が開発され、提供されてきている。しかし、これらの殆どのは、染料や顔料を用いるため製造時に染色廃液が生じてしまう、廃棄処分が容易でなく環境問題を引き起こす可能性がある、画像形成機構が複雑である、画像形成にコストがかかる、等の問題がある。近時、このような問題のない画像形成素子及び画像形成装置の開発が強く望まれている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 本発明は、従来における前記諸問題を解決し、前記要望に応え、以下の目的を達成することを課題とする。即ち、本発明は、製造が容易で、低コストで簡便に画像形成でき、廃棄時に環境問題を生ずるおそれがなく安全な画像形成素子、及び該画像形成素子を用い、カラー画像を形成可能な画像形成装置を提供することを目的とする。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するための手段は、以下の通りである。即ち、

<1> 棒状体が配向してなり構造的発色を示す膜を少なくとも有することを特徴とする画像形成素子である。

<2> 膜の厚みが810nm以下である前記<1>に記載の画像形成素子である。

<3> 棒状体が棒状有機分子であり、膜が、該棒状有機分子の単分子膜及び該単分子膜の積層膜のいずれかである前記<1>又は<2>に記載の画像形成素子である。

<4> 膜による干渉光が、下記数式(1)の条件で強められ、下記数式(2)の条件で弱められる前記<1>から<3>のいずれかに記載の画像形成素子である。

## 【0005】

## 【数2】

$$\lambda = \frac{2t}{m} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{4t}{2m-1} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (2)$$

【0006】但し、前記数式(1)及び数式(2)において、 $\lambda$ は、干渉光の波長(nm)を示し、 $\alpha$ は、膜への光の入射角(度)を示し、 $t$ は、膜の厚み(nm)を示し、 $l$ は、膜の積層数を示し、 $n$ は、膜の屈折率を示し、 $m$ は、1以上の整数を示す。

<5> 膜が基板上に固定された前記<1>から<4>のいずれかに記載の画像形成素子である。

<6> 棒状体が $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドである前記<1>から<5>のいずれかに記載の画像形成素子である。

<7> 棒状体の端部及び周側面の少なくともいずれかに、刺激により構造が可変である構造可変体が結合してなる前記<1>から<6>のいずれかに記載の画像形成素子である。

<8> 構造可変体の構造が変化すると発色が変わる前記<7>に記載の画像形成素子である。

<9> 構造可変体が、光、熱及び電場のいずれかにより構造が可変である前記<7>又は<8>に記載の画像形成素子である。

<10> 構造可変体が、幾何異性体、熱可塑性物質、熱硬化性物質及び液晶性分子から選択される前記<9>に記載の画像形成素子である。

<11> 構造可変体がアゾベンゼン化合物である前記<10>に記載の画像形成素子である。

【0007】<12> 前記<1>から<11>のいずれかに記載の画像形成素子と、該画像形成素子に光を照射する光照射手段とを少なくとも備えてなり、該画像形成素子が、前記光照射手段による光を干渉光として反射

し、該干渉光の波長が300~810nmであることを特徴とする画像形成装置である。

<13> 干渉光による発色が青色である画像形成素子、干渉光による発色が緑色である画像形成素子、及び、干渉光による発色が赤色である画像形成素子を少なくとも有する画素を複数有してなる前記<12>に記載の画像形成装置である。

<14> 前記<7>から<11>のいずれかに記載の画像形成素子と、該画像形成素子に光を照射する光照射手段と、該画像形成素子における構造可変体に刺激を付与する刺激付与手段とを少なくとも備えてなり、該画像形成素子が、前記光照射手段による光を干渉光として反射し、該干渉光の波長が300~810nmであることを特徴とする画像形成装置である。

<15> 画像形成素子における構造可変体の構造が、刺激付与手段の刺激により第一の構造及び第二の構造に可逆的に変化し、該構造可変体が第一の構造及び第二の構造の少なくとも一方である場合における該画像形成素子による干渉光の波長が300~810nmである前記<14>に記載の画像形成装置である。

<16> 構造可変体が第一の構造である場合における干渉光による発色が青色であり、かつ構造可変体が第二の構造である場合における干渉光による発色が無色である画像形成素子と、構造可変体が第一の構造である場合における干渉光による発色が緑色であり、かつ構造可変体が第二の構造である場合における干渉光による発色が無色である画像形成素子と、構造可変体が第一の構造である場合における干渉光による発色が赤色であり、かつ構造可変体が第二の構造である場合における干渉光による発色が無色である画像形成素子とを少なくとも有する画素を複数有してなる前記<14>又は<15>に記載の画像形成装置である。

【0008】前記<1>に記載の画像形成素子は、棒状体が配向してなり構造的発色を示す膜を少なくとも有する。該画像形成素子においては、前記膜が、モルフォ蝶翅の鱗粉の発色基本原理である多層薄膜干渉理論に基づく構造的発色を示す。該膜に電場、磁場、温度、光(例えば自然光、赤外線光、紫外線光)などの外部刺激を付与すると、該膜の厚みとその屈折率に応じて特定波長の干渉光が反射して該膜の表面で発色が生ずる。該発色は、前記外部刺激によりカメレオンの表皮のようにその色調が任意に制御され得る。このため、画像形成素子は、画像形成可能である。

【0009】前記<2>に記載の画像形成素子は、前記<1>において、膜の厚みが810nm以下である。このため、該膜に照射された可視光は干渉光として反射される。その結果、該膜は構造的発色を示し、該画像形成素子は画像形成可能である。

【0010】前記<3>に記載の画像形成素子は、前記<1>又は<2>において、棒状体が棒状有機分子であ



り、膜が、該棒状有機分子の単分子膜及び該単分子膜の積層膜のいずれかである。このため、該膜は、該単分子膜の厚み、積層数により自在に厚みが増減可能であり、前記構造的発色に基づく発色が調整可能である。

【0011】前記<4>に記載の画像形成素子は、前記<1>から<3>のいずれかにおいて、膜による干渉光が、下記数式(1)の条件で強められ、下記数式(2)の条件で弱められる。このため、該数式(1)の条件と該数式(2)の条件とを適宜選択することにより、所望の発色が強調された状態で得られる。また、該画像形成素子を複数種選択して組み合わせることにより、多色の発色が得られる。

【0012】

【数3】

$$\lambda = \frac{2t}{m} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{4t}{2m-1} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (2)$$

【0013】但し、前記数式(1)及び数式(2)において、 $\lambda$ は、干渉光の波長(nm)を示し、 $\alpha$ は、膜への光の入射角(度)を示し、 $t$ は、膜の厚み(nm)を示し、 $l$ は、膜の積層数を示し、 $n$ は、膜の屈折率を示し、 $m$ は、1以上の整数を示す。

【0014】前記<5>に記載の画像形成素子は、前記<1>から<4>のいずれかにおいて、膜が基板上に固定されている。このため、該画像形成素子は、立設等が可能であり、任意の位置に配置され得る。

【0015】前記<6>に記載の画像形成素子は、前記<1>から<5>のいずれかにおいては、棒状体が $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドである。該棒状体は、ポリペプチドの重合度を変更するだけで $\alpha$ -ヘリックスの螺旋長が増減可能であり、前記膜の厚みが調整可能である。しかも、該膜は生分解性であるので、安全であり、廃棄の際に環境問題が生ずるおそれがない。

【0016】前記<7>に記載の画像形成素子は、前記<1>から<6>のいずれかにおいては、棒状体の端部及び周側面の少なくともいずれかに、刺激により構造が増減可能である構造可変体が結合してなる。該画像形成装置においては、前記膜を形成する前記棒状体が構造可変体を有してなるので、刺激が付与されると該構造可変体の構造が増減し、その結果、該膜の厚みが増減する。その結果、該膜の厚みが増減前後で前記構造的発色に基づく発色が増減し得る。

【0017】前記<8>に記載の画像形成素子は、前記<7>において、構造可変体の構造が増減すると発色が増減する。該画像形成装置においては、刺激が付与されると該構造可変体の構造が増減し、前記膜の厚みが増減し、該膜の厚みが増減前後で前記構造的発色に基づく発

色が増減する。

【0018】前記<9>に記載の画像形成素子は、前記<7>又は<8>において、構造可変体が、光、熱及び電場のいずれかにより構造が増減可能である。該画像形成装置においては、光、熱及び電場のいずれかが付与されると該構造可変体の構造が増減し、前記膜の厚みが増減し、該膜の厚みが増減前後で前記構造的発色に基づく発色が増減する。

【0019】前記<10>に記載の画像形成素子は、前記<9>において、構造可変体が、幾何異性体、熱可塑性物質、熱硬化性物質及び液晶性分子から選択される。該画像形成装置においては、光、熱及び電場のいずれかが付与されると幾何異性体、熱可塑性物質、熱硬化性物質又は液晶性分子の構造が増減し、前記膜の厚みが増減し、該膜の厚みが増減前後で前記構造的発色に基づく発色が増減する。

【0020】前記<11>に記載の画像形成素子は、前記<10>において、構造可変体がアゾベンゼン化合物である。該画像形成装置においては、可視光又は紫外線が照射されるとアゾベンゼン化合物の構造が増減し、前記膜の厚みが増減し、該膜の厚みが増減前後で前記構造的発色に基づく発色が増減する。

【0021】前記<12>に記載の画像形成装置は、前記<1>から<11>のいずれかに記載の画像形成素子と、該画像形成素子に光を照射する光照射手段とを少なくとも備えてなり、該画像形成素子が、前記光照射手段による光を干渉光として反射し、該干渉光の波長が300～810nmである。

【0022】前記画像形成装置においては、前記光照射手段が前記画像形成素子に光を照射する。すると、前記画像形成素子における膜が、モルフォ蝶翅の鱗粉の発色基本原理である多層薄膜干渉理論に基づく構造的発色を示す。即ち、該膜に照射された光は特定波長の干渉光として反射される。該干渉光の波長が300～810nmであるので、該膜の表面で視認可能な発色が生ずる。その結果、画像が形成可能である。

【0023】前記<13>に記載の画像形成装置は、前記<12>において、干渉光による発色が青色である画像形成素子、干渉光による発色が緑色である画像形成素子、及び、干渉光による発色が赤色である画像形成素子を少なくとも有する画素を複数有してなる。

【0024】前記画像形成装置においては、干渉光による発色が青色である画像形成素子が光を反射すると青色を呈し、干渉光による発色が緑色である画像形成素子が光を反射すると緑色を呈し、干渉光による発色が赤色である画像形成素子が光を反射すると赤色を呈し、干渉光による発色が青色である画像形成素子及び干渉光による発色が赤色である画像形成素子が光を

反射するとマゼンタ色を呈し、干渉光による発色が緑色である画像形成素子及び干渉光による発色が赤色である画像形成素子が光を反射するとイエロー色を呈する。その結果、フルカラーの画像が形成可能である。

【0025】前記<14>に記載の画像形成装置は、前記<7>から<11>のいずれかに記載の画像形成素子と、該画像形成素子に光を照射する光照射手段と、該画像形成素子における構造可変体に刺激を付与する刺激付与手段とを少なくとも備えてなり、該画像形成素子が、前記光照射手段による光を干渉光として反射し、該干渉光の波長が300～810nmである。

【0026】前記画像形成装置においては、前記光照射手段が前記画像形成素子に光を照射する。すると、前記画像形成素子における膜が、モルフォ蝶翅の鱗粉の発色基本原理である多層薄膜干渉理論に基づく構造的発色を示す。即ち、該膜に照射された光は特定波長の干渉光として反射される。該干渉光の波長が300～810nmであるので、該膜の表面で視認可能な発色が生ずる。その結果、画像が形成可能である。そして、前記刺激付与手段が、前記構造可変体に刺激を付与する。すると、前記構造可変体の構造が変化し、前記膜の厚みが変化する。該膜の厚みが変化する、前記構造的発色による干渉光の波長が変化し、発色が変化し得る。

【0027】前記<15>に記載の画像形成装置は、前記<14>において、画像形成素子における構造可変体の構造が、刺激付与手段の刺激により第一の構造及び第二の構造に可逆的に変化し、該構造可変体が第一の構造及び第二の構造の少なくとも一方である場合における該画像形成素子による干渉光の波長が300～810nmである。

【0028】前記画像形成装置においては、前記刺激付与手段が、前記構造可変体に刺激を付与する。すると、前記構造可変体の構造が第一の構造から第二の構造に変化する。その結果、前記膜の厚みが変化する。該膜の厚みは、前記構造可変体が前記第一の構造である場合の第一の厚みと前記第二の構造である場合の第二の厚みとの2通りに、前記構造可変体の構造の変化に伴い可逆的に変化する。前記光照射手段が前記画像形成素子に光を照射する。すると、該画像形成素子における前記膜が、前記第一の厚みである場合には、モルフォ蝶翅の鱗粉の発色基本原理である多層薄膜干渉理論に基づく構造的発色を示す。即ち、該膜に照射された光は特定波長の干渉光として反射される。該干渉光の波長が300～810nmであるので、該膜の表面で視認可能な発色が生ずる。その結果、画像が形成可能である。一方、前記膜が、前記第二の厚みである場合には、該膜は前記構造的発色を示さないか、あるいは前記第一の厚みである場合の干渉光と異なる波長の干渉光を反射する。その結果、前記刺激付与手段により刺激を付与するだけで、前記膜の発色が有色から無色にあるいは異なる色に変化され得る。こ

のため、該画像形成装置は、発色の制御が容易であり、所望の画像が容易に形成され得る。

【0029】前記<16>に記載の画像形成装置は、前記<14>又は<15>において、構造可変体が第一の構造である場合における干渉光による発色が青色であり、かつ構造可変体が第二の構造である場合における干渉光による発色が無色である画像形成素子（以下「青色素子」と称する）と、構造可変体が第一の構造である場合における干渉光による発色が緑色であり、かつ構造可変体が第二の構造である場合における干渉光による発色が無色である画像形成素子（以下「緑色素子」と称する）と、構造可変体が第一の構造である場合における干渉光による発色が赤色であり、かつ構造可変体が第二の構造である場合における干渉光による発色が無色である画像形成素子（以下「赤色素子」と称する）とを少なくとも有する画素を複数有してなる。換言すれば、前記画像形成装置は、前記青色素子と前記緑色素子と前記赤色素子とを有する画素を複数有してなる。

【0030】前記画像形成装置においては、前記刺激付与手段が、青色素子発色用の刺激（以下「青色発色刺激」と称する）を付与する。すると、前記青色素子における前記構造可変体の構造が第一の構造から第二の構造に変化する。その結果、前記青色素子における前記膜の厚みが変化する。該膜の厚みは、前記青色素子における前記構造可変体が前記第一の構造である場合の第一の厚みと前記第二の構造である場合の第二の厚みとの2通りに、前記構造可変体の構造の変化に伴い可逆的に変化する。前記光照射手段が前記画像形成素子に光を照射する。すると、該青色素子における前記膜が、前記第一の厚みである場合には、モルフォ蝶翅の鱗粉の発色基本原理である多層薄膜干渉理論に基づく構造的発色を示す。即ち、該青色素子における前記膜に照射された光は、青色の干渉光として反射されるので、該膜の表面で青色の発色が生ずる。一方、前記刺激付与手段が、青色素子消色用の刺激（以下「青色消色刺激」と称する）を付与する。すると、前記青色素子における前記構造可変体の構造が第一の構造から第二の構造に変化する。その結果、前記青色素子における前記膜の厚みが前記第二の厚みに変化する。前記膜が、前記第二の厚みである場合には、該膜は無色の干渉光を反射するので、即ち視認不可能な可視光以外の光を反射するので、前記構造的発色を示さない。

【0031】前記刺激付与手段が、緑色素子発色用の刺激（以下「緑色発色刺激」と称する）を付与すると、前記青色素子の場合と同様に、該緑色素子における前記膜に照射された光は、緑色の干渉光として反射されるので、該膜の表面で緑色の発色が生ずる。一方、前記刺激付与手段が、緑色素子消色用の刺激（以下「緑色消色刺激」と称する）を付与する。すると、前記緑色素子における前記膜の厚みが前記第二の厚みに変化する。前記膜

が、前記第二の厚みである場合には、該膜は無色の干渉光を反射するので、即ち視認不可能な可視光以外の光を反射するので、前記構造的発色を示さない。また、前記刺激付与手段が、赤色素子発色用の刺激（以下「赤色発色刺激」と称する）を付与すると、前記青色素子の場合と同様に、該赤色素子における前記膜に照射された光は、赤色の干渉光として反射されるので、該膜の表面で赤色の発色が生ずる。一方、前記刺激付与手段が、赤色素子消色用の刺激（以下「赤色消色刺激」と称する）を付与する。すると、前記赤色素子における前記膜の厚みが前記第二の厚みに変化する。前記膜が、前記第二の厚みである場合には、該膜は無色の干渉光を反射するので、即ち視認不可能な可視光以外の光を反射するので、前記構造的発色を示さない。

【0032】このため、前記刺激付与手段が、前記青色発色刺激、前記緑色発色刺激及び前記赤色消色刺激を付与すると、前記画素においては青色及び緑色の発色合成によりシアン色を呈する。前記刺激付与手段が、前記青色発色刺激、前記緑色消色刺激及び前記赤色発色刺激を付与すると、前記画素においては青色及び赤色の発色合成によりマゼンタ色を呈する。前記刺激付与手段が、前記青色消色刺激、前記緑色発色刺激及び前記赤色発色刺激を付与すると、前記画素においては緑色及び赤色の発色合成によりイエロー色を呈する。したがって、これらの画素を組み合わせることにより、前記画像形成装置においては、フルカラーの画像が形成可能である。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、本発明の画像形成素子及び画像形成装置について説明する。本発明の画像形成素子は、棒状体が配向してなり構造的発色を示す膜を少なくとも有する。

【0034】＜棒状体＞前記棒状体としては、棒状であれば特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができ、棒状無機物、棒状有機物のいずれであってもよいが、棒状有機物であるのが好ましい。

【0035】前記棒状有機物としては、例えば、生体高分子、多糖類などが挙げられる。前記生体高分子としては、例えば、繊維状蛋白、 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチド、核酸（DNA、RNA）などが好適に挙げられる。該繊維状蛋白としては、例えば、 $\alpha$ -ケラチン、ミオシン、エビダーミン、フィブリノゲン、トロポマイシン、絹フィブロイン等の $\alpha$ -ヘリックス構造を有するものが挙げられる。前記多糖類としては、例えば、アミロースなどが好適に挙げられる。

【0036】前記棒状有機物の中でも、安定に棒状を維持することができ、また、目的に応じて内部に他の物質をインターカレートさせることができる点で、分子がらせん構造を有するらせん状有機分子が好ましく、該らせん状有機分子には、上述したものの内、 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチド、DNA、アミロースなどが該当する。

【0037】〔 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチド〕前記 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドは、ポリペプチドの二次構造の一つであり、アミノ酸3、6残基ごとに1回転（1らせんを形成）し、4番目ごとのアミノ酸のイミド基（ $-\text{NH}-$ ）とカルボニル基（ $-\text{CO}-$ ）との間に螺旋軸とほぼ平行な水素結合を作り、7アミノ酸を一単位として繰り返すことによりエネルギー的に安定な構造を有している。

【0038】前記 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドのらせん方向としては、特に制限はなく、右巻きであってもよいし、左巻きであってもよい。なお、天然には安定性の点から前記らせん方向が右巻きのものしか存在しない。

【0039】前記 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドを形成するアミノ酸としては、 $\alpha$ -ヘリックス構造を形成可能であれば特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができるが、該 $\alpha$ -ヘリックス構造を形成し易いものが好ましく、このようなアミノ酸としては、例えば、アスパラギン酸（Asp）、グルタミン酸（Glu）、アルギニン（Arg）、リジン（Lys）、ヒスチジン（His）、アスパラギン（Asn）、グルタミン（Gln）、セリン（Ser）、スレオニン（Thr）、アラニン（Ala）、バリン（Val）、ロイシン（Leu）、イソロイシン（Ile）、システイン（Cys）、メチオニン（Met）、チロシン（Tyr）、フェニルアラニン（Phe）、トリプトファン（Trp）などが好適に挙げられる。これらは、1種単独で使用されてもよいし、2種以上が併用されてもよい。

【0040】前記 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドの親性としては、前記アミノ酸を適宜選択することにより、親水性、親油性（疎水性）、両親媒性のいずれにも変え得るが、前記親水性とする場合、前記アミノ酸としては、セリン（Ser）、スレオニン（Thr）、アスパラギン酸（Asp）、グルタミン酸（Glu）、アルギニン（Arg）、リジン（Lys）、アスパラギン（Asn）、グルタミン（Gln）などが好適に挙げられ、前記親油性（疎水性）とする場合、前記アミノ酸としては、フェニルアラニン（Phe）、トリプトファン（Trp）、イソロイシン（Ile）、チロシン（Tyr）、メチオニン（Met）、ロイシン（Leu）、バリン（Val）などが挙げられる。

【0041】また、前記 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドにおいては、該 $\alpha$ -ヘリックスを形成する前記アミノ酸における、ペプチド結合を構成しないカルボキシル基を、エステル化することにより親油性（疎水性）にすることができ、一方、該エステル化されたカルボキシル基を加水分解することにより親水性にすることができる。

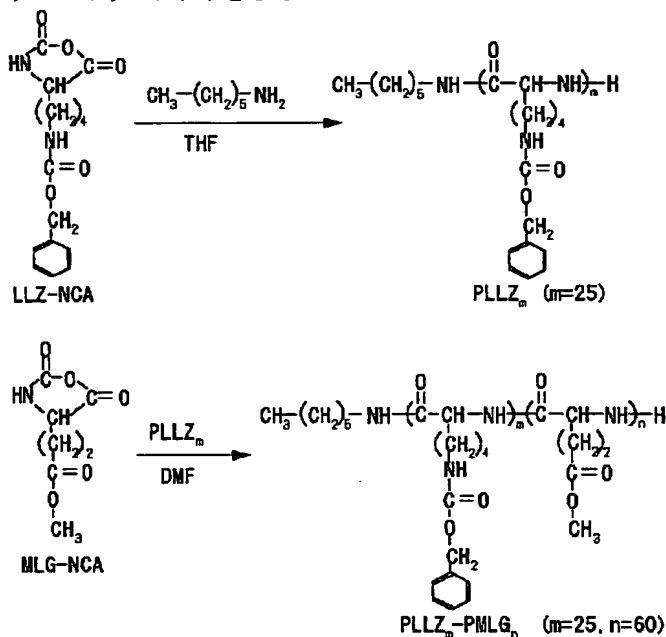
【0042】前記アミノ酸としては、L-アミノ酸、D-アミノ酸、これらの側鎖部分が修飾された誘導体などのいずれであってもよい。

【0043】前記 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドにおけ

るアミノ酸の結合個数（重合度）としては、特に制限はなく目的に応じて適宜選択することができるが、10～5000であるのが好ましい。前記結合個数（重合度）が、10未満であると、ポリアミノ酸が安定な $\alpha$ -ヘリックスを形成できなくなることがあり、5000を超えると、垂直配向させることが困難となることがある。

【0044】前記 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドの具体例としては、例えば、ポリ（ $\gamma$ -メチル-L-グルタメート）、ポリ（ $\gamma$ -エチル-L-グルタメート）、ポリ（ $\gamma$ -ベンジル-L-グルタメート）、ポリ（L-グルタミン酸- $\gamma$ -ベンジル）、ポリ（n-ヘキシル-L-グルタメート）等のポリグルタミン酸誘導体、ポリ（ $\beta$ -ベンジル-L-アスパラギン酸誘導体、ポリ（L-ロイシン）、ポリ（L-アラニン）、ポリ（L-メチオニン）、ポリ（L-フェニルアラニン）、ポリ（L-リジン）-ポリ（ $\gamma$ -メチル-L-グルタメート）などのポリペプチド、が好適に挙げられる。

【0045】前記 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドとして\*



【0048】前記 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドの合成は、上記方法に限られず、遺伝子工学的的方法により合成することもできる。具体的には、前記目的とするポリペプチドをコードするDNAを組み込んだ発現ベクターにより宿主細胞を形質転換し、この形質転換体を培養すること等により製造することができる。前記発現ベクターとしては、例えば、プラスミドベクター、ファージベクター、プラスミドとファージとのキメラベクター、などが挙げられる。前記宿主細胞としては、大腸菌、枯草菌等の原核微生物、酵母菌等の真核微生物、動物細胞などが挙げられる。

【0049】また、前記 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチド

\*は、市販のものであってもよいし、公知文献等に記載の方法に準じて適宜合成乃至調製したものであってもよい。

【0046】前記 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドの合成の一例として、ブロックコポリペプチド〔ポリ（L-リジン）<sub>25</sub>-ポリ（ $\gamma$ -メチル-L-グルタメート）<sub>60</sub>〕PLLZ<sub>25</sub>-PMLG<sub>60</sub>の合成をここで示すと次の通りである。即ち、ブロックコポリペプチド〔ポリ（L-リジン）<sub>25</sub>-ポリ（ $\gamma$ -メチル-L-グルタメート）<sub>60</sub>〕PLLZ<sub>25</sub>-PMLG<sub>60</sub>は、下記式で示したように、n-ヘキシルアミンを開始剤として用い、N<sup>ε</sup>-カルボベンゾキシ-L-リジン-N<sup>ε</sup>-カルボキシ酸無水物（LLZ-NCA）の重合を行い、続けて $\gamma$ -メチル-L-グルタメート-N<sup>ε</sup>-カルボキシ酸無水物（MLG-NCA）の重合を行うことにより合成することができる。

【0047】

【化1】

は、 $\alpha$ -ケラチン、ミオシン、エビダーミン、フィブリノゲン、トロポマイシン、絹フィブロイン等の天然の繊維状蛋白からその $\alpha$ -ヘリックス構造部分を切り出すことにより調製してもよい。

【0050】〔DNA〕前記DNAは、1本鎖DNAであってもよいが、安定に棒状を維持することができ、内部に他の物質をインターカレートできる等の点で2本鎖DNAであるのが好ましい。前記2本鎖DNAは、一つの中心軸の回りに、右巻きらせん状の2本のポリヌクレオチド鎖が互いに逆方向に延びた状態で位置して形成された2重らせん構造を有する。前記ポリヌクレオチド鎖は、アデニン（A）、チミン（T）、グアニン（G）及

ピシトシン (C) の4種類の核酸塩基で形成されており、前記ポリヌクレオチド鎖において前記核酸塩基は、中心軸に対して垂直な平面内で互いに内側に突出した形で存在して、いわゆるワトソン-クリック型塩基対を形成し、アデニンに対してはチミンが、グアニンに対してはシトシンが、それぞれ特異的に水素結合している。その結果、前記2本鎖DNAにおいては、2本のポリペプチド鎖が互いに相補的に結合している。

【0051】前記DNAは、公知のPCR (Polymerase Chain Reaction) 法、LCR (Ligase chain Reaction) 法、3SR (Self-sustained Sequence Replication) 法、SDA (Strand Displacement Amplification) 法等により調製することができるが、これらの中でもPCR法が好適である。

【0052】また、前記DNAは、天然の遺伝子から制限酵素により酵素的に直接切り出して調製してもよいし、遺伝子クローニング法により調製してもよいし、化学合成法により調製してもよい。

【0053】前記遺伝子クローニング法の場合、例えば、正常核酸を増幅したものをプラスミドベクター、ファージベクター、プラスミドとファージとのキメラベクター等から選択されるベクターに組み込み、大腸菌、枯草菌等の原核微生物、酵母等の真核微生物、動物細胞などから選択される増殖可能な任意の宿主に導入することにより前記DNAを大量に調製することができる。前記化学合成法としては、例えば、トリエステル法、亜リン酸法などのような、液相法又は不溶性の担体を使った固相合成法などが挙げられる。前記化学合成法の場合、公知の自動合成機等を用い、1本鎖のDNAを大量に調製した後、アニーリングを行うことにより、2本鎖DNAを調製することができる。

【0054】〔アミロース〕前記アミロースは、高等植物の貯蔵のためのホモ多糖類であるデンプンを構成するD-グルコースが $\alpha$ -1, 4結合で直鎖状につながったらせん構造を有する多糖である。前記アミロースの分子量としては、数平均分子量で、数千~15万程度が好ましい。前記アミロースは、市販のものであってもよいし、公知の方法に従って適宜調製したものであってもよい。なお、前記アミロースは、その一部にアミロペクチンが含まれていても構わない。

【0055】前記棒状体の長さとしては、特に制限はなく目的に応じて適宜選択することができるが、後述する構造的発色を生じさせる観点からは、810nm以下であるのが好ましく、10nm~810nmであるのがより好ましい。

【0056】前記棒状体の径としては、特に制限はないが、前記 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドの場合には0.8~2.0nm程度である。

【0057】前記棒状体は、その全部が疎水性又は親水性であってもよく、また、その一部が疎水性又は親水性であり、他の部分が該一部と逆の親性を示す両親媒性であってもよい。

【0058】前記両親媒性の棒状体としては、親油性(疎水性)を示す部分及び親水性を示す部分の数については特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができる。また、この場合、親油性(疎水性)を示す部分と親水性を示す部分とが交互に位置していてもよいし、いずれかの部分が棒状体の一端部にのみ位置していてもよい。

【0059】前記両親媒性の棒状体の一例として、図1に示すように、棒状体10は、その一端側に親油性部(疎水性部)10aを、他端側に親水性部10bを有する。

【0060】前記膜は、構造的発色を示す前記構造的発色は、モルフォ蝶翅の鱗粉の発色基本原理である多層薄膜干渉理論に基づき、前記膜に電場、磁場、温度、光(例えば自然光、赤外線光、紫外線光)などの外部刺激を与えたときに、該膜の厚みとその屈折率に応じて特定波長の光が反射する結果、該膜の表面で生ずる発色であり、前記外部刺激によりカメレオンの表皮のようにその色調が任意に制御され得る。

【0061】ここで、前記構造的発色の原理について下記に示す。図2及び図3に示すように、前記棒状体の膜に光が照射された際に該膜による干渉光の波長( $\lambda$ )は、下記(1)に示す条件で強められ、下記(2)に示す条件で弱められる。

【0062】

【数4】

$$\lambda = \frac{2t}{m} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{4t}{2m-1} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (2)$$

【0063】前記式(1)及び前記式(2)において、 $\lambda$ は、干渉光の波長(nm)を意味し、 $\alpha$ は、前記膜への光の入射角(度)を意味し、 $t$ は、膜の厚み(nm)を意味し、 $l$ は、膜の数を意味し、 $n$ は、膜の屈折率を意味し、 $m$ は、1以上の整数を意味する。

【0064】前記膜の厚みとしては、810nm以下であるのが好ましく、10nm~810nmであるのがより好ましい。前記厚みを適宜変更することにより、前記構造的発色の色(波長)を変化させることができ、この場合、カラー画像形成などへの応用も可能である。

【0065】前記膜は、単分子膜であってもよいし、該単分子膜による積層膜であってもよい。前記単分子膜又はそれによる前記積層膜は、例えば、ラングミュア-ブロッジェット法(LB法)に従って形成することができ、

その際、公知のLB膜形成装置（例えば、日本レーザー&エレクトロニクス・ラボラトリーズ社製のNL-LB400NK-MWCなどが好適に挙げられる）を使用することができる。

【0066】前記単分子膜の形成は、例えば、親油性（疎水性）若しくは両親媒性の前記棒状体を水面上（水相上）に浮かした状態で、又は、親水性若しくは両親媒性の前記棒状体を油面上（油相上）に浮かした状態で、即ち図4に示すように、棒状体10を配向させた状態で押出部材60を用いて基板50上に形成することができる。この操作を繰り返すことにより、基板50上に該単分子膜を任意の数だけ積層した前記積層膜を形成することができる。なお、前記単分子膜又は前記積層膜が基板50に固定されていると、該単分子膜又は積層膜による構造的発色が安定して発現される点で好ましい。

【0067】このとき、基板50としては、特に制限はなく、目的に応じてその材質、形状、大きさ等を適宜選択することができるが、その表面は、適宜、棒状体10が付着乃至結合し易くする目的で予め表面処理を行っておくのが好ましく、例えば、棒状体10例えば $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドが親水性である場合には、オクタデシル・トリメチルシロキサンなどを用いた親水化処理等の表面処理を予め行っておくのが好ましい。

【0068】なお、両親媒性の棒状体の単分子膜を形成する際に、該棒状体を油相又は水相上に浮かべた状態としては、図5に示す通り、前記水相又は油相上で、棒状体10の親油性部（疎水性部）10a同士が互いに隣接して配向し、親水性部10b同士が互いに隣接して配向している。

【0069】以上は前記棒状体が単分子膜の平面方向に配向（横に寝た状態）した単分子膜又はそれによる積層膜の例であるが、該棒状体が単分子膜の厚み方向に配向（立設した状態）した単分子膜は、例えば、以下のようにして形成することができる。即ち、図6に示すように、まず、両親媒性の棒状体10（ $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチド）を水面上（水相上）に浮かした状態（横に寝た状態）で、該水（水相）のpHを12程度のアルカリ性にする。すると、棒状体10（ $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチド）における親水性部10bが、その $\alpha$ -ヘリックス構造が解けてランダムな構造をとる。このとき、棒状体10（ $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチド）における親油性部（疎水性部）10aは $\alpha$ -ヘリックス構造を維持したままである。次に、該水（水相）のpHを5程度の酸性にする。すると、棒状体10（ $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチド）における親水性部10bが、再び $\alpha$ -ヘリックス構造をとるようになる。このとき、棒状体10（ $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチド）に対し、該棒状体10（ $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチド）に当接させた押圧部材をその側面からエアの圧力で押すと、該棒状体10は該水（水相）に対し立設した状態のままその親水性

部10bが水相中でその水面と略直交する方向に向かって $\alpha$ -ヘリックス構造をとるようになる。そして、図5を用いて上述したように、棒状体10（ $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチド）を配向させた状態で押出部材60を用いて基板50上に押し出すことにより基板50上に単分子膜を形成することができる。この操作を繰り返すことにより、基板50上に該単分子膜を任意の数だけ積層した前記積層膜を形成することができる。

【0070】前記膜は前記棒状体が配向してなるが、本発明においては、該棒状体が以下の構造可変体を有しているのが好ましい。

【0071】前記構造可変体としては、刺激により構造が可変であれば特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができる。

【0072】前記刺激としては、特に制限はないが、光、電場、熱、磁場、圧力などが挙げられ、光、電場、熱のいずれかが好ましい。

【0073】光により構造が可変である構造可変体としては、例えば、立体異性体、構造異性体などが挙げられる。

【0074】前記立体異性体としては、例えば、立体配置異性体、立体配座異性体（回転異性体）などが挙げられる。該立体配置異性体としては、幾何異性体、鏡像異性体、ジアステレオ異性体などが挙げられる。

【0075】前記構造異性体としては、例えば、骨格異性体、位置異性体、官能基異性体、環異性体、メタ異性体などが挙げられる。これらの光により構造が可変な構造可変体は、1種単独で使用してもよく、2種以上を併用してもよい。

【0076】電場により構造が可変な構造可変体としては、例えば、液晶性分子などが挙げられる。前記液晶性分子としては、例えば、棒状液晶性分子、ディスコティック液晶分子が挙げられる。

【0077】前記棒状液晶分子としては、例えば、アゾメチン化合物、アゾキシ化合物、シアノビフェニル化合物、シアノフェニルエステル化合物、安息香酸エステル化合物、シクロヘキサンカルボン酸フェニルエステル化合物、シアノフェニルシクロヘキサン化合物、シアノ置換フェニルピリミジン化合物、アルコキシ置換フェニルピリミジン化合物、フェニルジオキサン化合物、トラン化合物、アルケニルシクロヘキシルベンゾニトリル化合物などが挙げられる。また、高分子液晶性分子も好適に挙げられる。

【0078】前記ディスコティック液晶性分子としては、種々の文献（C. Destradé, et al., Mol. Cryst. Liq. Cryst., vol. 71, page 111 (1981); 日本化学会編、李刊化学総説、No. 22、液晶の化学、第5章、第10章第2節（1994）; B. Kohne et al., Angew. Chem. Soc. Chem. C

omm. page 1794 (1985); J. Zhang et al., J. Am. Chem. Soc., Vol 116, page 2655 (1994)), 及び、特開平5-5837号、特開平8-27284号、特開平8-334621号、特開平9-104656号の各公報に記載の化合物などが挙げられる。これらの電場により構造が可変な構造可変体は、1種単独で使用してもよく、2種以上を併用してもよい。

【0079】熱により構造が可変な構造可変体としては、例えば、熱膨張、熱収縮などを示すものが挙げられ、熱により結晶融解を示す物質や結晶化を示す物質、熱可塑性物質、熱硬化性物質、前記液晶性分子などが挙げられる。

【0080】前記熱可塑性物質としては、例えば、熱可塑性樹脂が挙げられ、具体的には、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリスチレン、ポリ塩化ビニリデン、フッ素樹脂、ポリメタクリル酸メチルなど、重縮合系のポリアミド、ポリエステル、ポリカーボネート、ポリフェニレンオキシド、重付加系の熱可塑性ポリウレタン、開環重合系のポリアセタールなどが挙げられる。前記熱硬化性物質としては、例えば、熱硬化性樹脂が挙げられ、具体的には、尿素樹脂、メラミン樹脂、フェノール樹脂などが挙げられる。これらの熱により構造が可変な構造可変体は、1種単独で使用してもよく、2種以上を併用してもよい。

【0081】以上の構造可変体としては、構造を可逆的に変え得るのが、発色変化の制御が必要な各種の用途に好適に利用できる点で好ましく、このような点で、幾何異性体、液晶性分子などが好ましく、幾何異性体により好ましい。

【0082】前記幾何異性体としては、光により構造が可変であれば特に制限はないが、シス・トランス異性体、シン・アンチ異性体などが挙げられ、アゾ基(—N=N—)を含む構造の化合物、例えば、アゾ化合物、アゾキシ化合物などが特に好適に挙げられる。

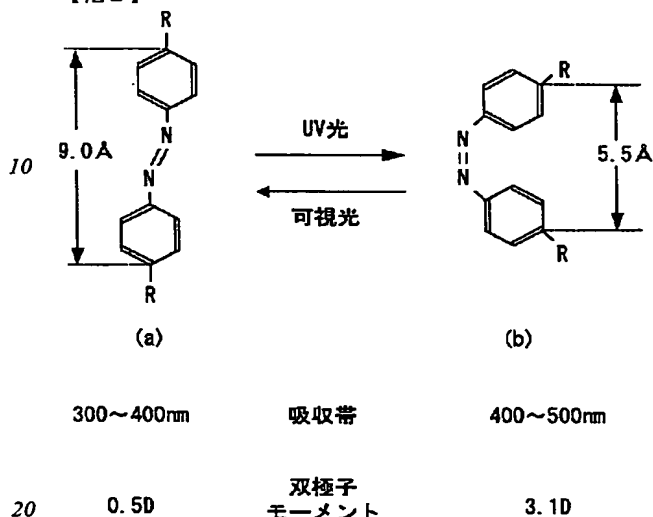
【0083】前記アゾ化合物としては、例えば、アゾベンゼン化合物、アゾメタン化合物、アゾジカルボンアミド化合物、アゾジカルボン酸ジエシル化合物などが挙げられる。前記アゾキシ化合物としては、アゾキシニ安息香酸化合物、アゾキシベンゼン化合物などが挙げられる。

【0084】ここで、光照射した際の前記アゾベンゼン化合物の構造の変化を下記に示す。アゾベンゼン化合物(トランス異性体)は、通常、300~400nmに吸収帯を有し、ベンゼン環におけるアゾ基に対してパラ位の位置間の長さは、約9.0Å程度の分子である(下記(a))。このトランス異性体に紫外線を照射すると、該トランス異性体は、ベンゼン環におけるアゾ基に対してパラ位の位置間の長さが約5.5Åの分子であるアゾベンゼン化合物(シス異性体)(下記(b))に構造が

変化する。一方、このシス異性体に可視光を照射すると、該シス異性体は、前記トランス異性体に構造が変化する。

【0085】

【化2】



【0086】前記構造可変体としては、図7に示すように棒状体10の直鎖に結合していてもよく、図8に示すように棒状体10の側鎖に結合していてもよい。前記構造可変体を前記棒状体に結合させる方法としては、特に制限はなく、該構造可変体と該棒状体との種類等に応じて適宜選択することができる。

【0087】前記構造可変体が、前記棒状体の側鎖に結合している場合、該棒状体の全側鎖における構造可変体の割合としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができる。

【0088】前記画像形成素子においては、前記刺激(光、電場、熱等)を作用させると、前記構造可変体の構造が変化する。該画像形成素子における前記膜が、前記構造可変体の構造の変化により厚みが自在に変化する。例えば、前記画像形成素子における前記棒状体をα-ヘリックス・ポリペプチドとし、該棒状体に結合する前記構造可変体をアゾベンゼン化合物とする場合、該アゾベンゼン化合物における一端が前記α-ヘリックス・ポリペプチドの一端に結合され、他端が基板に結合された態様では、図9に示すように、該アゾベンゼン化合物が、可視光を照射した時にはトランス構造をとり、紫外線を照射した時にはシス構造をとり、トランス構造の場合にはシス構造の場合に比べて膜の厚み厚くなる。また、該アゾベンゼン化合物における一端が前記α-ヘリックス・ポリペプチドに周側面に結合され、該α-ヘリックス・ポリペプチドが水平に配向された状態で基板に固定された態様では、図10に示すように、該アゾベンゼン化合物が、可視光を照射した時にはトランス構造をとり、紫外線を照射した時にはシス構造をとり、トラン

ス構造の場合にはシス構造の場合に比べて膜の厚みが厚くなる。

【0089】ここで、前記画像形成素子における前記膜の厚みを、紫外線を照射した時に前記構造的発色を示し、可視光を照射した時に前記構造的発色を示さないように設定すれば、前記構造的発色をON-OFFで発現させることができる。また、前記画像形成素子における前記膜の厚みを、紫外線を照射した時に前記構造的発色による発色を示し、可視光を照射した時に別の発色を示すように設定すれば、前記構造的発色を2色に変化させることができる。これらの画像形成素子は、画像形成に好適に使用可能である。

【0090】前記画像形成素子は、製造が容易で、低コストで簡単に画像形成でき、廃棄時に環境問題を生ずるおそれがなく安全であり、各種分野において広く使用することができ、画像形成分野、カラー画像形成分野において好適に使用することができ、本発明の画像形成装置に特に好適に使用することができる。

【0091】本発明の画像形成装置は、前記本発明の画像形成素子と、該画像形成素子に光を照射する光照射手段とを少なくとも備えてなり、該画像形成素子が前記構造可変体を有する場合には、該構造可変体に刺激を付与する刺激付与手段をも備えてなり、更に必要に応じて適宜選択したその他の手段を有してなる。

【0092】前記画像形成装置は、前記画像形成素子を画像形成のための画素として備えるが、該画素としては、1種単独の前記画像形成素子で形成されていてもよいし、2種以上の前記画像形成素子を併用して形成されていてもよい。なお、後者の場合には、併用する該画像形成素子による干渉光の波長の組合せを適宜選択することにより、具体的には、干渉光による発色が青色である画像形成素子（青色素子）、干渉光による発色が緑色である画像形成素子（緑色素子）、及び、干渉光による発色が赤色である画像形成素子（赤色素子）を併用して形成されているものが好ましく、この場合、該画素の発色をフルカラーにすることができる点で好ましい。この場合、前記青色素子及び前記緑色素子が光を反射すると該画素はシアン色を呈し、前記青色素子及び前記赤色素子が光を反射すると該画素はマゼンタ色を呈し、前記緑色素子及び前記赤色素子が光を反射すると該画素はイエロ色を呈する。

【0093】なお、本発明において、前記干渉色による発色が青色である場合、該干渉光の波長としては、一般に青色を示す波長領域であればよいが、例えば400nm以上500nm未満程度とされる領域の波長などである。また、前記干渉色による発色が緑色である場合、該干渉光の波長としては、一般に緑色を示す波長領域であればよいが、例えば500nm以上600nm未満程度とされる領域の波長などである。また、前記干渉色による発色が赤色である場合、該干渉光の波長としては、一

般に赤色を示す波長領域であればよいが、例えば600nm以上700nm未満程度の領域の波長などである。

【0094】前記光照射手段としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができるが、例えば、可視光を照射することができる光源などが好適に挙げられる。前記光照射手段は、その駆動がコンピュータ等の制御手段により制御されているのが好ましい。

【0095】前記刺激付与手段としては、特に制限はなく、前記構造可変体の種類に応じて適宜選択することができるが、例えば、可視光及び紫外線を切り替えて照射することができる光源、電場を印加することができる電源、熱を印加することができる熱源、などが好適に挙げられる。前記刺激付与手段は、その駆動がコンピュータ等の制御手段により制御されているのが好ましい。

【0096】前記画像形成装置の態様としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができるが、例えば、前記画像形成素子が、前記光照射手段による光を干渉光として反射し、該干渉光の波長が300～810nmである態様が好ましい。また、前記画像形成素子として、干渉光による発色が青色である画像形成素子、干渉光による発色が緑色である画像形成素子、及び、干渉光による発色が赤色である画像形成素子を少なくとも有し、これらの画像形成素子で画素を形成してなる態様も好ましい。

【0097】また、前記刺激付与手段を有してなり、前記画像形成素子における構造可変体の構造が、該刺激付与手段の刺激により第一の構造及び第二の構造に可逆的に変化し、該構造可変体が第一の構造及び第二の構造の少なくとも一方である場合における該画像形成素子による干渉光の波長が300～810nmである態様も好ましい。

【0098】また、前記刺激付与手段を有してなり、前記画像形成素子における構造可変体の構造が、前記刺激付与手段の刺激により第一の構造及び第二の構造に可逆的に変化し、該構造可変体が第一の構造及び第二の構造の少なくとも一方である場合における該画像形成素子による干渉光の波長が300～810nmである態様も好ましい。

【0099】また、前記刺激付与手段を有してなり、前記構造可変体が第一の構造である場合における干渉光による発色が青色であり、かつ該構造可変体が第二の構造である場合における干渉光による発色が無色（干渉光が可視光以外の光である場合を意味する。以下同じ。）である画像形成素子（以下「青色素子」と称する）と、前記構造可変体が第一の構造である場合における干渉光による発色が緑色であり、かつ該構造可変体が第二の構造である場合における干渉光による発色が無色である画像形成素子（以下「緑色素子」と称する）と、前記構造可変体が第一の構造である場合における干渉光による発色が赤色であり、かつ該構造可変体が第二の構造である場



合における干渉光による発色が無色である画像形成素子（以下「赤色素子」と称する）とを少なくとも有してなる画素を複数有してなる態様、換言すれば、前記青色素子と前記緑色素子と前記赤色素子とを有する画素を複数有してなる態様も好ましい。この態様の場合、前記刺激付与手段が、前記青色発色刺激、前記緑色発色刺激及び前記赤色消色刺激を付与すると、前記画素においては青色及び緑色の発色合成によりシアン色を呈する。前記刺激付与手段が、前記青色発色刺激、前記緑色消色刺激及び前記赤色発色刺激を付与すると、前記画素においては青色及び赤色の発色合成によりマゼンタ色を呈する。前記刺激付与手段が、前記青色消色刺激、前記緑色発色刺激及び前記赤色発色刺激を付与すると、前記画素においては緑色及び赤色の発色合成によりイエロー色を呈する。したがって、これらの画素を組み合わせることで、フルカラーの画像が形成可能である点で好ましい。

【0100】前記画像形成装置は、前記本発明の画像形成素子を用いているので、製造が容易であり、低コストで簡単に画像形成することができ、廃棄時に環境問題を生ずるおそれがなく安全であり、カラー画像を形成可能であり、各種画像形成分野において好適に使用することができる。

#### 【0101】

【実施例】以下、本発明の実施例を説明するが、本発明はこれらの実施例に何ら限定されるものではない。

【0102】（実施例1） $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドの単分子膜を基板上に形成し、更に該単分子膜上に同じ単分子膜を積層して積層膜を形成し、本発明の画像形成素子を作製した。この画像形成素子においては、後述のように構造的発色を示すことが確認された。なお、この画像形成素子に関し、その構造的発色と前記単分子膜の積層数との関係についても調べた。

【0103】前記 $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドとしては、グルタミン酸のカルボキシル基の水素原子を $n$ -ヘキシル基で置換したものをモノマーユニットとするポリ（ $n$ -ヘキシル L-グルタメート（以下「PHeLG」と表記することがある））を使用した。該PHeLGは、ベンジルアミンを重合開始剤として用いたL-グルタミン酸・ $\gamma$ -メチルエステルの重合反応により得られ、その重合度は $^1\text{H-NMR}$ 測定によると114であった。前記基板は、オクタデシル・トリメトキシシラン（東京化成工業社製）を用いて表面処理したシリコン基板（信越化学工業社製）を使用した。前記単分子膜は、L-B膜形成装置（日本レーザー&エレクトロニクス・ラボラトリー社製、NL-LB400NK-MWC）を使用して形成した。なお、前記PHeLGにおいて、 $\alpha$ -ヘリックスの螺旋のピッチは0.15（nm/アミノ酸残基）であり、 $\alpha$ -ヘリックスの直径は1.5（nm）であった。

【0104】この単分子膜を120積層した積層膜につ

いて、FT-IRスペクトルを測定したところ、4つのピークが得られた。1つは、側鎖の $\text{C}=\text{O}$ 基に基づく $1738\text{ cm}^{-1}$ のピークである。もう1つは、 $\alpha$ -ヘリックス構造中のアミド基Iに基づく $1656\text{ cm}^{-1}$ の強いピークである。もう1つは、 $\beta$ -構造中のアミド基Iに基づく $1626\text{ cm}^{-1}$ の小さく弱いピークである。最後の1つは、 $\alpha$ -ヘリックス構造中のアミド基IIに基づく $1551\text{ cm}^{-1}$ のピークである。このFT-IRスペクトルの測定結果から、前記PHeLG分子は前記単分子膜中で $\alpha$ -ヘリックス構造を維持していることが確認された。

【0105】前記PHeLGによる単分子膜は、該PHeLGによる単分子膜20層を積層した時の厚みが32mmであったので、1層当たりの厚みを算出すると1.6nmであった。

【0106】次に、この単分子膜による積層膜における積層数と前記構造的発色との関係を調べたところ、該単分子膜が60層、70層及び80層積層された各積層膜は、図11に示すような可視光反射スペクトルを示した。また、該単分子膜が40～50層積層された積層膜は、茶色の構造的発色を示し、該単分子膜が60～70層積層した積層膜は、暗青色（ダークブルー、濃青色）を示し、該単分子膜を80～100層積層した積層膜は、明青色（ライトブルー、薄青色）を示し、該単分子膜を120層付近まで積層した積層膜は、黄色を示し、該単分子膜を160層まで積層した積層膜は、赤紫色を示すことが確認された。

【0107】具体的には、前記単分子層を40層積層した積層膜と、80層積層した積層膜を120層積層した積層膜とに関する可視光反射スペクトルは、図12に示すように、80層積層した積層膜は、418nmに反射率（%）が最大ピークを示し青色を呈していた。一方、40層積層した積層膜は、456nmに反射率（%）が最小を示し、前記青色の補色である茶色（暗橙色）を呈していた。他方、120層積層した積層膜は、619nmに反射率（%）が最大ピークを示し409nmに反射率（%）が最小を示し、弱められた409nmの波長の光により強められた619nmの光に基づく黄色を呈していた。

【0108】前記可視光反射スペクトルの波長（ $\lambda$ ）は、前記単分子膜による積層膜への光の入射角（ $\alpha$ ）により影響され、該波長（ $\lambda$ ）が強められる条件は下記（1）に示した通りであり、該波長（ $\lambda$ ）が弱められる条件は下記（2）に示した通りであった。

#### 【0109】

##### 【数5】

$$\lambda = \frac{2t}{m} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{4t}{2m-1} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (2)$$

【0110】前記式(1)及び前記式(2)において、 $\lambda$ は、干渉光の波長(nm)を意味し、 $\alpha$ は、前記単分子膜又は前記積層膜への光の入射角(度)を意味し、 $t$ は、単分子膜の厚み(nm)を意味し、 $l$ は、単分子膜の数を意味し、 $n$ は、単分子膜の屈折率を意味し、 $m$ は、1以上の整数を意味する。

【0111】そして、前記可視光反射スペクトルの波長( $\lambda$ )と、前記単分子膜による積層膜への光の入射角( $\alpha$ )との関係を調べたところ、図13に示す通りであり、5つの入射角( $\alpha$ )に対する5つの反射スペクトルの波長( $\lambda$ )の実測値と、上記式(1)及び(2)で算出した波長( $\lambda_s$ )とは、ほぼ一致していた。なお、図13において、「◆」は、40層積層した積層膜の最小スペクトルを意味し、「□」は、80層積層した積層膜の最大スペクトルを意味し、「○」は、120層積層した積層膜の最大スペクトルを意味し、「●」は、120層積層した積層膜の最小スペクトルを意味する。そして、ラインIは、上記式(1)により、 $l=120$ 及び $m=1$ の条件にて、ラインIIは、上記式(1)により $l=80$ 及び $m=1$ の条件にて、あるいは、上記式(2)により $l=40$ 及び $m=1$ の条件にて、あるいは、上記式(2)により $l=120$ 及び $m=2$ の条件にて、それぞれ $t=1.7$ (nm)及び $n=1.6$ の条件にて算出されたものである(これら3種の算出結果のラインは互いにほぼオーバーラップしている)。

【0112】以上の結果より、実施例1の画像形成素子を用いるとカラー画像が形成され得ることが判った。

【0113】(実施例2)まず、前記棒状体としての $\alpha$ -ヘリックス・ポリペプチドとして、 $\alpha$ -ヘリックス・コポリペプチドPL LZ<sub>25</sub>-P (MLG<sub>42</sub>/LGA<sub>18</sub>)を以下のようにして調製した。即ち、 $n$ -ヘキシルアミンを開始剤として用い、 $N$ -カルボベンゾキシ-L-リジン  $N$ -カルボキシン酸無水物(L LZ-NCA)の重合を行い、続けて $\gamma$ -メチル-L-グルタマート  $N$ -カルボキシン酸無水物(MLG-NCA)の重合を行うことによりPL LZ部の重合度が $x$ 、PMLG部の重合度が $y$ のブロックコポリペプチドPL LZ<sub>x</sub>-PMLG<sub>y</sub>を調製した。その後、PMLGセグメントを部分的に加水分解してL-グルタミン酸(LGA)とすることで $\alpha$ -ヘリックス・コポリペプチドPL LZ<sub>x</sub>-P (MLG<sub>y</sub>/LGA<sub>z</sub>)を調製した。そして、この $\alpha$ -ヘリックス・コポリペプチドPL LZ<sub>x</sub>-P (MLG<sub>y</sub>/LGA<sub>z</sub>)の一端にアゾベンゼンを結合させ、更に該アゾベンゼンを実施例1で使用した基板に固定し、複数配向させて単分子膜を形成することにより、画像形成素子を作製した。

【0114】得られた画像形成素子は、前記 $\alpha$ -ヘリッ

クス・コポリペプチドにおける重合度(=X+Y+Z)が、260~5400に設定した3種類であり、3種類の厚みを有していた。その内の一種は、アゾベンゼン化合物がトランス構造である場合における干渉光による発色が青色(該干渉光の波長は400nm以上500nm未満程度)であり、かつアゾベンゼン化合物がシス構造である場合における干渉光による発色が無色(該干渉光の波長が300~810nm以外)である画像形成素子(以下「青色素子」と称する)である。他の一種は、アゾベンゼン化合物がトランス構造である場合における干渉光による発色が緑色(該干渉光の波長が500nm以上600nm未満程度)であり、かつアゾベンゼン化合物がシス構造である場合における干渉光による波長が無色(該干渉光の波長が300~810nm以外)である画像形成素子(以下「緑色素子」と称する)である。残りの一種は、アゾベンゼン化合物がトランス構造である場合における干渉光による発色が赤色(該干渉光の波長が600nm以上700nm未満程度)であり、かつアゾベンゼン化合物がシス構造である場合における干渉光による発色が無色(該干渉光の波長が300~810nm以外)である画像形成素子(以下「赤色素子」と称する)である。

【0115】実施例2の画像形成装置は、以上の青色素子、緑色素子及び赤色素子を有してなる画素を複数有し、前記光照射手段として、これらの素子に可視光を照射する光源と、前記刺激付与手段として、これらの素子におけるアゾベンゼン化合物に可視光及び紫外線を切り替え可能に照射する光源(刺激付与光源)とを備えてなる。なお、これら2つの光源はコンピュータによりその駆動が制御可能に設計した。

【0116】この画像形成装置においては、前記刺激付与光源が前記青色発色刺激としての可視光を照射する。すると、前記青色素子におけるアゾベンゼン化合物がトランス構造に変化する。その結果、前記青色素子における前記膜の厚みが増加する。該膜の厚みは、前記青色素子におけるアゾベンゼン化合物がトランス構造である場合の厚みとシス構造である場合の厚みとの2通りに、アゾベンゼン化合物のトランス構造-シス構造の変化に伴い可逆的に変化する。前記光源が前記青色素子に可視光を照射する。すると、該青色素子における前記膜が、前記アゾベンゼン化合物がトランス構造である場合の厚みの時には、該膜から青色の干渉光が反射されるので、該膜の表面で青色の発色が生ずる。一方、前記刺激付与光源が、前記青色素子に可視光以外の光を照射すると、前記青色素子における前記アゾベンゼン化合物がトランス構造からシス構造に変化する。その結果、前記青色素子における前記膜の厚みが前記アゾベンゼン化合物がシス構造である場合の厚みに変化する。前記膜が、前記アゾベンゼン化合物がシス構造である場合の厚みの時には、該膜は無色の干渉光を反射するので、即ち可視光以外の

光を反射するので、前記構造的発色を示さない。

【0117】前記刺激付与光源が、前記緑色発色刺激としての可視光を照射すると、前記青色素子の場合と同様に、該緑色素子における前記膜に照射された光は、緑色の干渉光として反射されるので、該膜の表面で緑色の発色が生ずる。一方、前記刺激付与光源が、前記緑色消色刺激としての紫外線を照射すると、前記緑色素子における前記膜の厚みが前記アゾベンゼン化合物がシス構造である場合の厚みに変化し、この場合には、該膜は無色の干渉光を反射するので、即ち可視光以外の光を反射するので、前記構造的発色を示さない。また、前記刺激付与光源が、前記赤色発色刺激としての可視光を照射すると、前記青色素子の場合と同様に、該赤色素子における前記膜に照射された光は、赤色の干渉光として反射されるので、該膜の表面で赤色の発色が生ずる。一方、前記刺激付与光源が、前記赤色消色刺激としての紫外線を照射すると、前記赤色素子における前記膜の厚みが前記アゾベンゼン化合物がシス構造である場合の厚みに変化し、この場合には、該膜は無色の干渉光を反射するので、即ち可視光以外の光を反射するので、前記構造的発色を示さない。

【0118】この画像形成装置において、前記刺激付与光源が、前記青色発色刺激、前記緑色発色刺激及び前記赤色消色刺激を付与し、前記光源が前記画素に向けて可視光を照射したところ、該画素においては青色及び緑色の発色合成によりシアン色を呈することが確認された。また、前記刺激付与光源が、前記青色発色刺激、前記緑色消色刺激及び前記赤色発色刺激を付与し、前記光源が前記画素に向けて可視光を照射したところ、該画素においては青色及び赤色の発色合成によりマゼンタ色を呈することが確認された。更に、前記刺激付与光源が、前記青色消色刺激、前記緑色発色刺激及び前記赤色発色刺激を付与し、前記光源が前記画素に向けて可視光を照射したところ、該画素においては緑色及び赤色の発色合成によりイエロー色を呈することが確認された。これらの画素の発色制御を同時に行ったところ、フルカラーの画像を形成することができた。

【0119】

【発明の効果】本発明によると、従来における前記諸問題を解決することができ、また、製造が容易で、低コストで簡便に画像形成でき、廃棄時に環境問題を生ずるお

それがなく安全な画像形成素子、及び該画像形成素子を用い、カラー画像を形成可能な画像形成装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、両親媒性の棒状体の一例を示す概略説明図である。

【図2】図2は、基板上に設けられた棒状体の単分子膜による光の干渉を説明するための概略図である。

【図3】図3は、構造的発色の原理を説明するための概略図である。

【図4】図4は、棒状体による単分子膜の形成を示す概略説明図である。

【図5】図5は、両親媒性の棒状体が水（水相）上で配向している状態の一例を示す概略説明図である。

【図6】図6は、両親媒性の棒状体を水（水相）上で立設させる方法の一例を示す概略説明図である。

【図7】図7は、棒状体の一端に構造可変体が結合された態様を示す概略説明図である。

【図8】図8は、棒状体の周側面に構造可変体を有する態様を示す概略説明図である。

【図9】図9は、本発明の画像形成素子の一例を示す概略説明図である。

【図10】図10は、本発明の画像形成素子の他の例を示す概略説明図である。

【図11】図11は、棒状体の単分子膜を積層した積層膜（60層、70層、80層）による構造的発色の波長と該積層膜の厚みとの関係を示すグラフである。

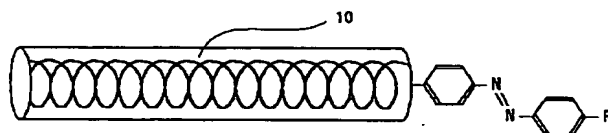
【図12】図12は、棒状体の単分子膜を積層した積層膜（40層、80層、120層）による構造的発色の波長と該積層膜の厚みとの関係を示すグラフである。

【図13】図13は、棒状体の単分子膜を積層した積層膜（40層、80層、120層）への光の入射角 $\alpha$ （度）と、反射波長 $\lambda$ （nm）との関係を示すグラフである。

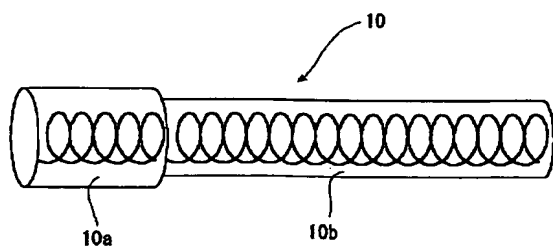
【符号の説明】

- |     |            |
|-----|------------|
| 10  | 棒状体        |
| 10a | 親油性部（疎水性部） |
| 10b | 親水性部       |
| 30  | 構造可変体      |
| 50  | 基板         |
| 60  | 押出部材       |

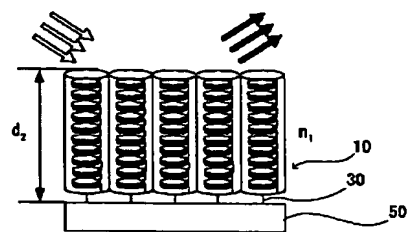
【図7】



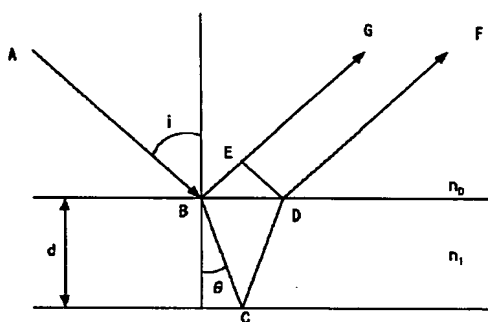
【図 1】



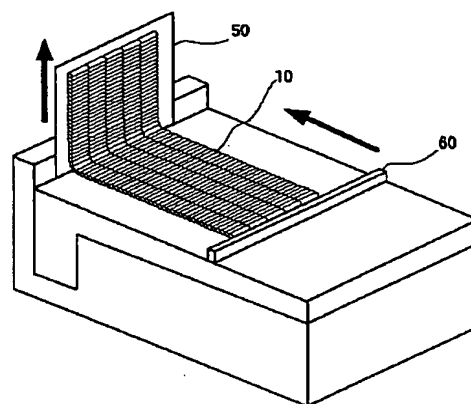
【図 2】



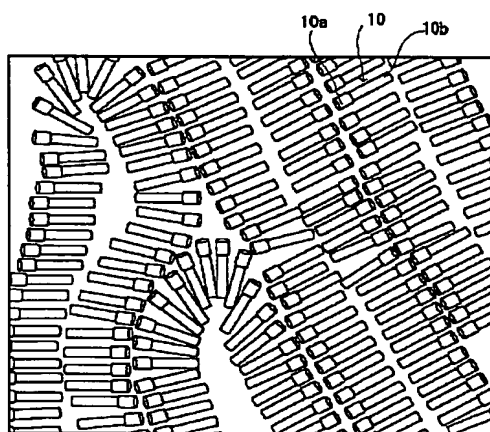
【図 3】



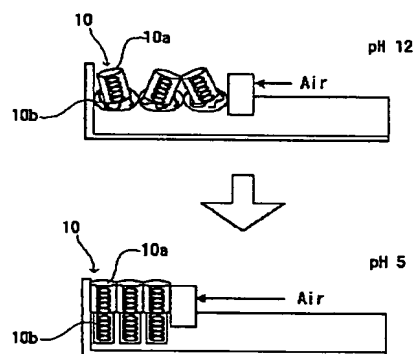
【図 4】



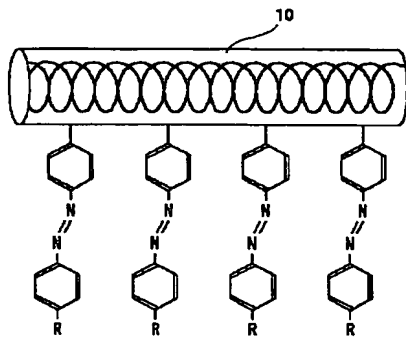
【図 5】



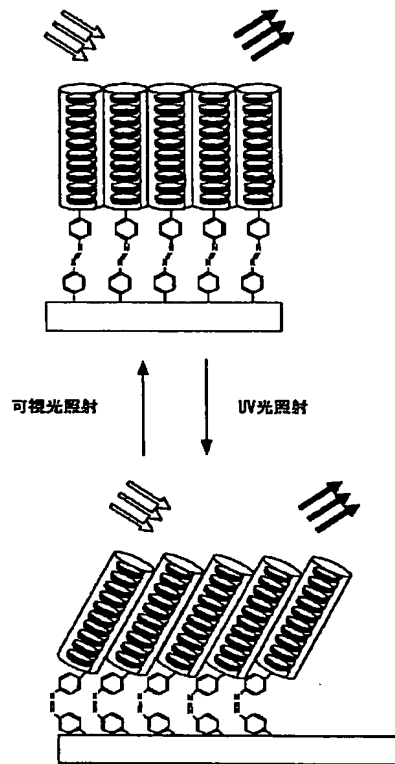
【図 6】



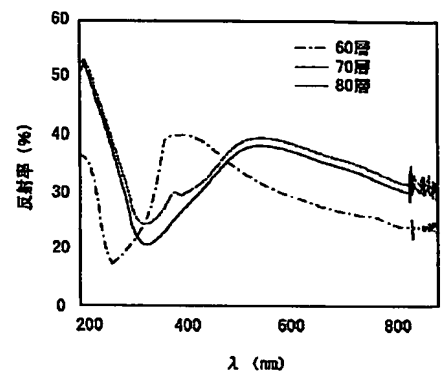
【図8】



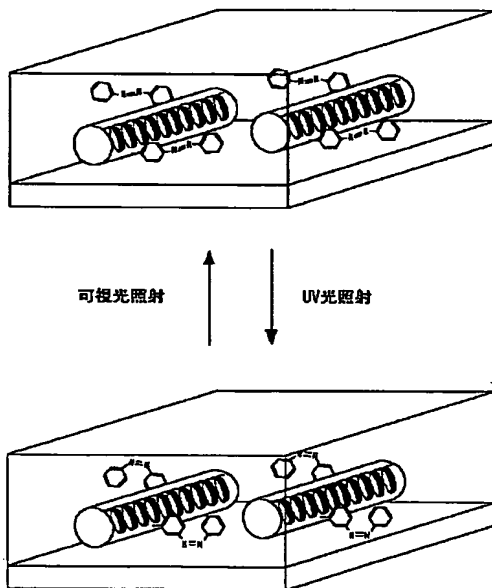
【図9】



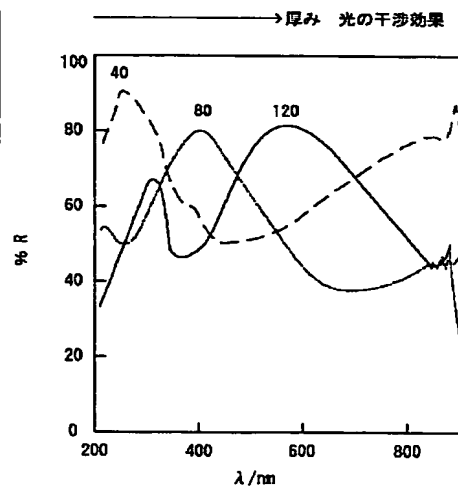
【図11】



【図10】



【図12】



【図13】

